

# INNOVACIÓN Y SOFTWARE

REVISTA DE LA FACULTAD DE INGENIERIAS Y  
ARQUITECTURA DE ULASALLE



## REVISTA INNOVACIÓN Y SOFTWARE

Vol. 6 N<sup>o</sup>. 2 2025 Septiembre - Febrero

ISSN: 2708-0935

DOI: [10.48168/innosoft.s24](https://doi.org/10.48168/innosoft.s24)

ARK: [ark:/42411/s24](https://nbn-resolving.org/ark:/42411/s24)

PURL: [42411/s24](https://purl.org/42411/s24)

Depósito Legal: 2023-08884

Periodicidad: Semestral

Publicado: 31/03/2025

EDITADO POR: Universidad La Salle

RUC: 20456344004

Ave. Alfonso Ugarte No. 517, Cercado, Arequipa, Perú

### COMITÉ EDITORIAL

EDITOR JEFE: Dr. Yasiel Pérez Vera

EDITORES ASOCIADOS: MSc. Anié Bermudez Peña, MSc. Percy Oscar Huertas Niquén

### MIEMBROS DEL CONSEJO EDITORIAL:

Dr. José Manuel Patricio Quintanilla Paulet

Hno. Jacobo Meza Rodríguez

Dr.C José Javier Zavala Fernández

Dr. Glenn Roberto Arce Larrea

Dr.C Álvaro Rodolfo Fernández del Carpio

MSc. Paul Mauricio Mendoza del Carpio

CORRECCIÓN DE ESTILOS: MSc. Orlando Alonso Mazeyra Guillén

MAQUETACIÓN: Patrick Andrés Rampirez Santos

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional.

Se permite la reproducción total o parcial de este libro, así como su transmisión sin fines de lucro por cualquier medio, respetando los derechos de autor con respecto al texto e ilustraciones.



Hecho en Perú

# Editorial

Estimados lectores,

Nos complace presentar el Volumen 6, Número 2 de la Revista Innovación y Software (septiembre - febrero 2025). Esta edición marca un punto de inflexión en la investigación tecnológica: la transición de la Inteligencia Artificial (IA) hacia su integración pragmática en arquitecturas de software complejas. Los trabajos seleccionados no solo exploran la potencia algorítmica, sino que refinan las estructuras que los soportan.

El eje central de este número es la optimización de Modelos de Lenguaje Grande (LLMs). Iniciamos con el análisis del prompt engineering, demostrando cómo instrucciones estratégicas mejoran la precisión de modelos como GPT y BERT sin reentrenamientos costosos. Esta línea se complementa con aplicaciones prácticas, como asistentes web para clasificar incidentes técnicos y la automatización inteligente de procesos mediante herramientas open source como n8n, clave para la eficiencia operativa. La sostenibilidad del desarrollo ocupa un lugar vital. Se examina críticamente la "deuda técnica" en dos frentes: su identificación en herramientas de aprendizaje profundo, donde la rapidez puede comprometer la calidad, y la deuda de requisitos, originada por documentación deficiente o ambigua. En el ámbito arquitectónico, presentamos propuestas de microservicios en contenedores virtuales como alternativa escalable a sistemas legados. En el sector salud, la revista destaca el impacto de la IA en la asistencia quirúrgica para reducir riesgos procedimentales y analiza tecnologías biométricas para asegurar datos en hospitales inteligentes. Además, se incluyen estudios predictivos mediante machine learning para el diagnóstico temprano de demencia y enfermedad celíaca utilizando algoritmos como KNN.

Finalmente, abarcamos aplicaciones industriales y sociales: el impacto de las TIC en la cadena de suministro de la construcción, sistemas web para la gestión logística comercial, la predicción meteorológica mediante Deep Learning y la evaluación de costos de inventarios mediante simulación en Python. La seguridad de la información se aborda con propuestas novedosas de cifrado Salsa20 con inyección de ruido, cerrando con una revisión sobre el impacto de la IA en el desarrollo de ciudades avanzadas.

Esta entrega refleja un ecosistema de investigación maduro, donde la innovación construye sistemas resilientes al servicio de la sociedad.

Atentamente,

Comité Editorial

# Índice

<b>Artículos Cortos</b>	<b>5</b>
Optimización de Modelos de Lenguaje Grande (LLMs) a través del Prompt Engineering . . . . .	6
Sergio Díaz Sifuentes, Crishtian Paz Fernández, Marcelino Torres Villanueva	
<b>Artículos Originales</b>	<b>12</b>
Aplicación web para clasificar y asistir en la gestión de incidentes usando LLMs de OpenAI . . . . .	13
Diego Sebastián Vásquez Jaramillo, Luigi Anthony Rosas Pérez, Luis Daniel Zavaleta Mego, Alberto Carlos Mendoza de los Santos	
Impacto de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) en la Integración de la Cadena de Suministro en Proyectos de Construcción . . . . .	28
Sergio Nicola Quispe Salazar, Betsy Junelly Julca Santa Cruz, Luis Alonzo De Francisco Valverde Rebaza	
Diseño de una arquitectura de microservicios en contenedores virtuales . . . . .	40
Samantha Yazmin Elizalde Valencia, José Juan Hernández Mora, María Guadalupe Medina Barrera, Juan Ramos Ramos	
Automatización inteligente para procesos correctos: n8n como motor de eficiencia digital . . . . .	58
Mario S. Moreno	
Aplicación del algoritmo KNN para la predicción de enfermedad celíaca utilizando variables clínicas y serológicas . . . . .	74
Daniel Lévano Rodríguez, Flor Elizabeth Cerdán León, Cesar Rolando Salazar Giraldo, Jadira Dina Vasquez Castro, Marita Abigail Carbajal Bazán, Aldana Camila Zea Mendoza	
Evaluación de Costos en la Gestión de Inventarios: Un Estudio de Simulación Basado en Python . . . . .	90
Francisco Bencomo Murga, Rosa Ma Amaya-Toral, Martha Patricia García-Martínez	
Sistema web de comercialización para mejorar la eficiencia y gestión logística en LAKTOMART S.A. . . . .	103
Gianfranco Vidondo Chafloc, Juan Rodrigo Villanueva Ramos, Luis Enrique Boy Chavil, Juan Pedro Santos Fernandez	
Técnicas y Herramientas de Deep Learning para la Predicción Meteorológica Inteligente . . . . .	124
Jose Luis Gutierrez Diaz, Kevin Parimango Gómez, Marcelino Torres Villanueva	
A Case Study of the Salsa20 Encryption Algorithm Using Random Noisy Injection Enhanced by Artificial Intelligence . . . . .	134
Edgar Rangel Lugo, Kevin Uriel Rangel Ríos, Carlos Alberto Bernal Beltrán, Leonel González Vidales, César Del Ángel Rodríguez Torres, Lucero De Jesús Ascencio Antúnez, Rosa Isabel Reynoso Andrés	
<b>Artículos de revisión</b>	<b>159</b>
Impacto de la Inteligencia Artificial en las ciudades Avanzadas: Un futuro potenciado . . . . .	160
Renzo Said Florian-Villegas, Jack David García Alayo, Marcelino Torres Villanueva	
Identificación y Medición de Deuda Técnica Autoadmitida en Herramientas de Aprendizaje Profundo: Una Revisión Sistemática . . . . .	171
Elizabeth Cuatecontzi Cuahutle, María Guadalupe Medina Barrera, Raúl Cortes Maldonado, Carlos Bueno Avendaño	

Innovaciones en Inteligencia Artificial para la Asistencia Quirúrgica: Revisión Sistemática de Aplicaciones y Eficacia Clínica . . . . .	192
Cristian Daniel Armas Abad, Deysi Elvia Yuvixa Quiliche Plasencia, Marcelino Torres Villanueva	
Revisión Sistemática de la Literatura de la Deuda de Requisitos: Sus Causas y Medición . . . . .	217
Maria Janai Sanchez Hernández, Maria Guadalupe Medina Barrera, José Federico Ramírez Cruz, Blanca Estela Pedroza-Méndez	
Analizando atributos clave de la IA y tecnologías para autenticación biométrica en hospitales inteligentes	237
César Alexander Acuña Cisneros, Carlos Daniel Gutiérrez Sandoval, Alberto Carlos Mendoza De Los Santos	
Algoritmos de machine learning para la predicción de la demencia: Revisión sistemática . . . . .	258
Ricardo Dario Mendoza Rivera, Lecca Rengifo Maria Alexandra, Guido Haro Marco Lucas, Cruz Ulloa Leydi Marisol, Huamanchumo Gordillo Alexander Saul, Quispe Sanchez Edward Steven	

## Artículos Cortos



## Introducción

La evolución de los Modelos de Lenguaje Grande (LLMs, por sus siglas en inglés) revolucionó el procesamiento del lenguaje natural (NLP), proporcionando capacidades avanzadas para comprender, analizar y generar texto con una fluidez similar a la humana. Estos modelos, como GPT (Generative Pre-trained Transformer) y BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers), establecieron nuevos estándares en aplicaciones como asistentes virtuales, generación de resúmenes, traducción automática y análisis semántico. Su éxito se basó en las arquitecturas de Transformadores, introducidas por Vaswani et al. (2017), que utilizan mecanismos de atención para procesar grandes volúmenes de datos lingüísticos de manera eficiente [3].

A pesar de sus destacadas capacidades, los LLMs enfrentaron desafíos en su implementación práctica. Uno de los principales problemas fue que su desempeño dependía significativamente de cómo se les presentaba cada tarea, incluyendo el diseño de instrucciones que guiaran al modelo hacia respuestas precisas y relevantes. En este contexto, el prompt engineering emergió como una técnica innovadora que permitía optimizar el uso de estos modelos sin necesidad de ajustes computacionales extensivos.

El prompt engineering se fundamentó en la formulación de instrucciones específicas que maximizaban el rendimiento del modelo en tareas particulares. Estrategias como el zero-shot learning, que se basaba en instrucciones claras sin ejemplos previos, y el few-shot learning, que empleaba ejemplos dentro del prompt para proporcionar contexto, demostraron ser efectivas para resolver problemas complejos (Brown et al., 2020) [1]. Además, técnicas como el razonamiento en cadena (chain-of-thought prompting) permitieron descomponer problemas en pasos secuenciales, mejorando la precisión del modelo en tareas lógicas y matemáticas (Wei et al., 2022) [6].

Este estudio se enfocó en explorar el impacto del prompt engineering como una herramienta para optimizar las capacidades de los LLMs. Analizó cómo esta técnica no solo incrementaba la precisión y relevancia de las respuestas, sino que también facilitaba su adopción en aplicaciones prácticas, desde la atención al cliente hasta la investigación científica. El objetivo fue establecer una base metodológica que permitiera maximizar el potencial de los modelos existentes mientras se abordaban sus limitaciones actuales, como la generalización y la sensibilidad a instrucciones ambiguas.

## Materiales y métodos o Metodología computacional

La investigación sobre la optimización de Modelos de Lenguaje Grande (LLMs) a través del prompt engineering se realizó empleando un enfoque metodológico integral. Este combinó la revisión sistemática de literatura, análisis de casos prácticos, experimentos controlados y entrevistas a expertos en la materia. Estas metodologías,

utilizadas en conjunto, permitieron explorar el impacto y las posibilidades de esta técnica en el rendimiento de los LLMs, así como identificar áreas clave para futuras investigaciones. A continuación, se detallan los enfoques metodológicos utilizados:

1. **Revisión de la literatura** Se llevó a cabo una exhaustiva revisión de la literatura científica relacionada con los LLMs y el prompt engineering. La revisión abarcó publicaciones académicas de alto impacto, artículos técnicos, informes de investigación y documentación oficial de desarrolladores como OpenAI y Google. Este análisis permitió identificar conceptos clave, estrategias utilizadas y las limitaciones reportadas en la implementación de prompts para optimizar tareas específicas en modelos como GPT-4 y BERT [1, 2, 5].
2. **Análisis de casos de éxito** Se seleccionaron casos prácticos de organizaciones y equipos de investigación que han implementado con éxito técnicas de prompt engineering. Los casos incluyeron aplicaciones en generación de texto técnico, análisis de sentimientos y respuestas automatizadas. Se analizaron desafíos enfrentados, soluciones propuestas y métricas de desempeño logradas, destacando cómo estrategias como few-shot learning y razonamiento en cadena han permitido mejoras significativas en el rendimiento de los LLMs [1, 6].
3. **Metodologías experimentales** Se realizaron experimentos controlados para evaluar la eficacia de diferentes estrategias de prompt engineering. Los experimentos incluyeron tareas de generación de texto, clasificación temática y resolución de problemas lógicos. Se compararon los enfoques zero-shot, few-shot y razonamiento en cadena en términos de precisión, coherencia y relevancia de las respuestas [6].  
  
Herramientas utilizadas: modelos preentrenados como GPT-4 y BERT, implementados mediante bibliotecas como Transformers de Hugging Face [4]. Métricas de evaluación: F1-score, precisión y métricas personalizadas relacionadas con satisfacción del usuario.
4. **Entrevistas a expertos Metodologías experimentales** Se realizaron entrevistas estructuradas con investigadores, desarrolladores y profesionales que utilizan LLMs en aplicaciones prácticas. Estas entrevistas proporcionaron información valiosa sobre las tendencias emergentes en prompt engineering y los desafíos técnicos enfrentados durante su implementación. También ayudaron a identificar oportunidades de mejora en el diseño y uso de prompts.
5. **Análisis integrado** Finalmente, se llevó a cabo un análisis integrado de los hallazgos obtenidos a través de las metodologías mencionadas. Este análisis permitió identificar patrones comunes, validar resultados y generar conclusiones fundamentadas. También se destacó la relación sinérgica entre las estrategias experimentales y los hallazgos de la revisión de literatura y las entrevistas, estableciendo una base sólida para recomendaciones futuras [3, 7].

## Resultados y discusión

Los resultados de la investigación sobre la optimización de los Modelos de Lenguaje Grande (LLMs) mediante prompt engineering han demostrado que esta técnica mejora significativamente el rendimiento en tareas específicas de procesamiento del lenguaje natural. Al diseñar instrucciones detalladas y contextuales, se logra una mayor precisión y relevancia en las respuestas de los modelos, especialmente en aplicaciones como la generación de texto, la clasificación temática y la resolución de problemas complejos.

Los experimentos realizados muestran que el prompt engineering puede reducir la dependencia de ajustes computacionales complejos, lo que facilita la implementación práctica de LLMs en diversas industrias. Además, se destacó que esta técnica mejora la adaptabilidad de los modelos a diferentes contextos y dominios.

En general, los resultados confirman que el prompt engineering es una herramienta crucial para maximizar el potencial de los LLMs, ofreciendo soluciones rápidas, precisas y adaptables a las necesidades específicas de los usuarios.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la investigación:

- 1. Automatización de Tareas Complejas** El prompt engineering permite a los LLMs automatizar tareas avanzadas como la generación de informes, análisis de datos y clasificación de textos. Por ejemplo, en experimentos con GPT-4, los prompts optimizados generaron resúmenes técnicos con una precisión del 85 %, superando significativamente las expectativas de tareas automatizadas previas [1, 7].
- 2. Mejora en la Precisión de las Respuestas** La capacidad de diseñar prompts contextuales incrementó la precisión en la resolución de problemas matemáticos y en la clasificación temática. Los modelos que utilizaron razonamiento en cadena (chain-of-thought prompting) lograron aumentar la precisión en un 20 % en comparación con los enfoques tradicionales de few-shot learning [6].
- 3. Reducción de Falsos Positivos** Al utilizar estrategias de prompt engineering, se observó una disminución significativa en los errores de clasificación y falsos positivos en tareas de análisis de sentimientos. Esto optimizó el uso de recursos y mejoró la eficiencia en aplicaciones prácticas como la atención al cliente [1, 4].
- 4. Personalización de Respuestas** El uso de prompts adaptados a contextos específicos permitió personalizar las respuestas de los LLMs según las necesidades de los usuarios. Por ejemplo, en el análisis de datos financieros, los prompts diseñados con datos históricos relevantes mejoraron la utilidad de las respuestas en un 30 % [3, 5].

5. **Predicción de Respuestas Complejas** Los modelos preentrenados, como GPT-4, mostraron una notable capacidad para predecir y estructurar respuestas en tareas de alta complejidad al analizar patrones previos y datos históricos proporcionados en los prompts. Este enfoque permitió a los usuarios obtener respuestas más completas y útiles en menos tiempo [1, 7].

## Conclusiones

El prompt engineering se consolida como una técnica esencial que está redefiniendo el uso de los Modelos de Lenguaje Grande (LLMs) en el ámbito del procesamiento del lenguaje natural. A pesar de los desafíos asociados a su implementación, como la dependencia de la calidad de los datos y la falta de interpretabilidad, su capacidad para optimizar la precisión, relevancia y adaptabilidad de los modelos demuestra un enorme potencial para aplicaciones prácticas en diversos dominios.

El éxito del prompt engineering radica en su habilidad para maximizar las capacidades de los LLMs sin requerir ajustes computacionales extensivos. Su capacidad para personalizar respuestas, reducir errores y mejorar la eficiencia en tareas específicas lo posiciona como una herramienta poderosa en entornos donde la precisión y la flexibilidad son críticas. Sin embargo, su adopción requiere un enfoque estratégico que integre tanto consideraciones técnicas como éticas, asegurando la transparencia y la responsabilidad en todas las etapas del proceso.

El desarrollo de talento especializado en prompt engineering es fundamental para garantizar su implementación efectiva. Esto no solo incluye habilidades técnicas para diseñar prompts efectivos, sino también una comprensión profunda de las implicaciones éticas y sociales de esta tecnología. La formación de profesionales en este campo será clave para abordar los desafíos asociados y capitalizar plenamente sus beneficios.

En resumen, el prompt engineering ofrece una oportunidad única para expandir las capacidades de los LLMs, pero su implementación debe estar respaldada por una planificación consciente, inversión en recursos humanos y una visión ética que asegure su impacto positivo en la sociedad. Esto permitirá no solo mejorar la eficiencia y efectividad de los modelos, sino también garantizar su alineación con valores y principios responsables en un mundo cada vez más impulsado por la inteligencia artificial.

## Contribución de Autoría

**Crishtian Brenon Paz Fernández:** Conceptualización, Investigación, Metodología, Software, Validación, Redacción - borrador original. **Sergio Helí Díaz Sifuentes:** Conceptualización, Investigación, Metodología, Análisis formal, Recursos, Visualización, Supervisión, Administración de proyectos, Adquisición de fondos,

Curación de datos, Escritura, revisión y edición. **Marcelino Torres Villanueva.**

## Referencias

- [1] T. B. Brown, B. Mann, N. Ryder, M. Subbiah, J. Kaplan, P. Dhariwal, A. Neelakantan, P. Shyam, G. Sastry, A. Askell, S. Agarwal, A. Herbert-Voss, G. Krueger, T. Henighan, R. Child, A. Ramesh, D. Ziegler, J. Wu, C. Winter, ..., and D. Amodei, “Language models are few-shot learners,” *arXiv*, 2020. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2005.14165>
- [2] J. Devlin, M.-W. Chang, K. Lee, and K. Toutanova, “Bert: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding,” *arXiv*, 2018. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1810.04805>
- [3] A. Vaswani, N. Shazeer, N. Parmar, J. Uszkoreit, L. Jones, A. N. Gomez, Ł. Kaiser, and I. Polosukhin, “Attention is all you need,” *arXiv*, 2017. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1706.03762>
- [4] T. Wolf, L. Debut, V. Sanh, J. Chaumond, C. Delangue, A. Moi, P. Cistac, T. Rault, R. Louf, M. Funtowicz, and J. Brew, “Transformers: State-of-the-art natural language processing,” *arXiv*, 2020. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1910.03771>
- [5] C. Raffel, N. Shazeer, A. Roberts, K. Lee, S. Narang, M. Matena, Y. Zhou, W. Li, and P. J. Liu, “Exploring the limits of transfer learning with a unified text-to-text transformer,” *Journal of Machine Learning Research*, vol. 21, pp. 1–67, 2020. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1910.10683>
- [6] J. Wei, X. Wang, D. Schuurmans, M. Bosma, B. Ichter, F. Xia, E. H. Chi, Q. V. Le, and D. Zhou, “Chain of thought prompting elicits reasoning in large language models,” *arXiv*, 2022. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2201.11903>
- [7] OpenAI, “GPT-4 technical report,” OpenAI, 2023. [Online]. Available: <https://openai.com/research/gpt-4>

## Artículos Originales



Tipo de artículo: Artículos originales  
Temática: Desarrollo de aplicaciones informáticas  
Recibido: 17/9/2024 | Aceptado: 24/10/2024 | Publicado: 30/9/2025

Identificadores persistentes:  
DOI: [10.48168/innosoft.s24.a298](https://doi.org/10.48168/innosoft.s24.a298)  
ARK: [42411/s24.a298](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:org:ark:42411/s24.a298)  
PURL: [ark:/42411/s24.a298](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:org:ark:42411/s24.a298)

# Aplicación web para clasificar y asistir en la gestión de incidentes usando LLMs de OpenAI

## *Web application for classifying and assisting in incident management using OpenAI LLMs*

Diego Sebastián Vásquez Jaramillo<sup>2</sup>[\[0009-0003-7495-1095\]\\*, Luiggi Anthony Rosas Pérez<sup>1</sup>\[\\[0009-0009-0875-6455\\]\]\(https://orcid.org/0009-0009-0875-6455\), Luis Daniel Zavaleta Mego<sup>3</sup>\[\\[0009-0006-6453-9277\\]\]\(https://orcid.org/0009-0006-6453-9277\), Alberto Carlos Mendoza de los Santos<sup>4</sup>\[\\[0000-0002-0469-915X\\]\]\(https://orcid.org/0000-0002-0469-915X\)](https://orcid.org/0009-0003-7495-1095)

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú. [lrosasp@unitru.edu.pe](mailto:lrosasp@unitru.edu.pe)

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú. [dvasquezj@unitru.edu.pe](mailto:dvasquezj@unitru.edu.pe)

<sup>3</sup>Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú. [lzavaletam@unitru.edu.pe](mailto:lzavaletam@unitru.edu.pe)

<sup>4</sup>Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú. [amendozad@unitru.edu.pe](mailto:amendozad@unitru.edu.pe)

\*Autor para correspondencia: [dvasquezj@unitru.edu.pe](mailto:dvasquezj@unitru.edu.pe)

### Resumen

Se establece la propuesta de una aplicación web destinada a asistir en la administración de incidentes técnicos en el campo de la tecnología de la información. La implementación fue llevada a cabo con una arquitectura en 3 capas, basándonos en tecnologías web mediante React, Laravel y MySQL como base de datos. Se establecieron modelos de lenguaje de gran envergadura, aplicando técnicas de diseño de instrucciones para poder analizar descripciones de incidentes técnicos y llegar a proporcionar automáticamente sugerencias y clasificar la prioridad, basándonos en criterios para los incidentes que se generan en el presente. La propuesta fue desarrollada sobre la base de la metodología ágil de tipo SCRUM y validada con usuarios reales, que evaluaron la funcionalidad y la precisión que obtenía dicho sistema. La herramienta obtuvo un 77,3 % de precisión en la propuesta de sugerencias correctas, destacando en categorías como software, redes. Estos resultados evidenciaron la utilidad de la solución como apoyo en la selección de soluciones y en la reducción del esfuerzo cognitivo durante las etapas iniciales de diagnóstico. Se concluye que el uso de LLMs en el soporte técnico representa una alternativa eficaz para optimizar procesos, siempre que se utilice como complemento de la experiencia humana.

**Palabras claves:** Asistencia técnica, Inteligencia artificial, Modelos de lenguaje, Soporte TI, Sugerencias automatizadas.

### Abstract

The proposal for a web application to assist in the management of technical incidents in the field of information technology is established. The implementation was carried out with a 3-layer architecture, based on web technologies using React, Laravel, and a relational database. Large language models were implemented, applying instruction design techniques to analyze descriptions of technical incidents and automatically provide suggestions and classify priority, based on criteria for incidents generated in the present. The proposal was developed based on the SCRUM agile methodology and validated with real users, who evaluated the functionality and accuracy of the system. The tool achieved a 77.3 % accuracy in proposing correct suggestions, excelling in

*categories such as software and networks. These results demonstrated the usefulness of the solution as support in the selection of solutions and in reducing cognitive effort during the initial stages of diagnosis. It is concluded that the use of LLMs in technical support represents an effective alternative for optimizing processes, as long as it is used as a complement to human experience.*

**Keywords:** *Technical assistance, Artificial intelligence, Language modelling, IT support, Automated suggestions.*

---

## Introducción

La gestión de incidentes técnicos en entornos de tecnologías de la información (TI) implica resolver diversos incidentes relacionados con software, redes o sistemas operativos. Este proceso depende en gran medida del criterio del técnico, lo que puede generar variaciones en los tiempos de atención y en la calidad de las soluciones aplicadas.

En respuesta a esta problemática la solución propuesta es generar una aplicación web que implemente inteligencia artificial para ayudar a los técnicos en la gestión de incidentes de manera que presenten sugerencias automáticas y clasifiquen la prioridad de los incidentes para optimizar la concentración y el proceso de toma de decisiones de forma que se combine los LLM de OpenAI en concreto gpt-3.5-turbo mediante el diseño de instrucciones (prompt engineering) así como [1] dice que puede adecuarse modelos generales a los usos de tareas específicas como puede ser la clasificación de los incidentes y la resolución de los mismos respecto de las prioridades que se tiene en cuenta la capacidad del modelo.

La solución permite clasificar automáticamente la prioridad del incidente (alta, media o baja) según su severidad e impacto e ir generando sugerencias técnicas contextualizadas que será el usuario quien decida revisar, regenerar y aplicar como soporte. La arquitectura del sistema está compuesta por una interfaz programada en React, una lógica de servidor en el framework Laravel y MySQL como base de datos.

El desarrollo de la propuesta fue realizado bajo la metodología ágil SCRUM y se hizo sobre usuarios, más concretamente sobre personal técnico y estudiantes con experiencia en soporte TI. Se validó la solución con el propósito de estudiar la validez práctica de la propuesta y la precisión de las sugerencias técnicas que generaba la herramienta. El experimento, por ejemplo el que describe [2], nos habla de que el uso de clasificación automática de incidentes reportados hace mejorar el aprovechamiento en soporte técnico. Con este contexto, se puso a prueba las respuestas generadas por la herramienta contrastándolas con las soluciones de las bases documentadas de datos reales, analizando la congestión y la aplicabilidad de la propuestas de la herramienta.

En [3], se ha encontrado el uso de LLMs como asistentes técnicos pertinentes en la generación de recomen-

daciones en un contexto determinado. Sin embargo, como se indica en [4], estos modelos poseen limitaciones al abordar cuestiones de diagnóstico complejas; esto hace evidente que una solución que automatiza no debe sustituir el criterio humano; es decir, no se espera que la propuesta de solución supla a una persona especialista, sino que se hace una propuesta de un asistente automatizado que coadyuve a una persona especialista en su tarea de análisis. Se exploran, pues, el potencial y los límites actuales de los LLMs como herramientas de apoyo en entornos de TI.

## **Materiales y métodos**

### **Estado del arte**

La evolución en la clasificación automática de tickets de soporte ha sido evidente gracias a los sistemas de análisis de lenguaje y aprendizaje por computadora. En [5] se creó un sistema de aprendizaje automático que puede categorizar tickets de soporte técnico en 7 categorías y lograron un 75% de precisión en el modelo utilizando técnicas de NLP y redes neuronales. Esto ya muestra que estos algoritmos permiten recortar el tiempo de triaje manual y la asignación automática de tickets a los equipos.

Las aplicaciones de LLMs en la resolución incidentes implican también las investigaciones más recientes que [6] demuestran la robustez de los marcos colaborativos multi-agente que combinan análisis especializado, generación de código, pruebas iterativas, etc. Al mismo tiempo, aplicaciones web nacientes están adoptando LLMs para mejorar el soporte técnico incorporando capacidades de búsqueda, sugerencias de respuestas, y extracción automática de información [7].

A día de hoy, las búsquedas hechas en el rubro de la inteligencia artificial exploran técnicas de prompting multi-experto para incrementar la fiabilidad y la utilidad de los LLMs para varios expertos del problema, emulando a la vez diversas opiniones expertas y a la vez situando en los mismos incidentes referenciados en [8]. Experiencias analizadas, en cambio, detectan la falta de capacidades en la resolución directa de incidentes de planificación complejos (para los que existen propuestas de soluciones) por lo que salen a la luz marcos híbridos de LLMs, como los que mezclan algoritmos de optimización matemática especializados para resolverlos [9].

### **Fundamentación teórica**

#### **Clasificación de incidentes**

Proceso fundamental en gestión de servicios de TI definido según ITIL 4 como metodología sistemática para categorizar incidentes facilitando la asignación a equipos especializados [10]. Incluye identificación del tipo de incidente, evaluación de impacto y asignación de prioridades.

## **Inteligencia Artificial**

Una rama de la computación dedicada a crear sistemas que pueden realizar tareas que demandan inteligencia humana, tales como aprender, razonar, percibir y decidir, utilizando algoritmos y modelos de computación [11].

### **Large Language Models (LLMs)**

Son modelos de IA basados en arquitecturas transformer entrenados para entender y producir lenguaje natural contextual [12]. En problemas técnicos, interpretan descripciones, clasifican consultas y generan soluciones contextuales.

### **Prompt engineering**

Proceso de optimizar instrucciones específicas para mejorar la eficacia de modelos de lenguaje sin modificar parámetros centrales [13]. La asignación de roles instruye al modelo para adoptar perspectivas expertas mejorando respuestas en dominios técnicos.

## **Herramientas**

### **Laravel**

Framework PHP de código abierto que implementa el patrón MVC, ofreciendo sintaxis expresiva, herramientas integradas (Eloquent ORM, migraciones, Blade) y énfasis en buenas prácticas de desarrollo para aplicaciones web escalables [14].

### **React**

Biblioteca JavaScript creada por Meta con el objetivo de desarrollar interfaces de usuario mediante elementos que se pueden reutilizar, utilizando DOM virtual para renderizado eficiente y manejo dinámico de datos con estados/props [11].

### **MySQL**

Sistema para administrar bases de datos relacionales de código abierto, reconocido por su confiabilidad, cumplimiento de ACID, escalabilidad y uso en pilas tecnológicas como LAMP para manejo de datos estructurados [15].

### **OpenAI**

Laboratorio de investigación en IA que desarrolla modelos de lenguaje como GPT, entrenados con aprendizaje automático avanzado para generar respuestas contextuales, resolver problemas complejos y adaptarse a tareas diversas sin ajustes específicos [16].

## Desarrollo de la aplicación

### Arquitectura del sistema

El sistema fue desarrollado siguiendo una arquitectura de tres capas con React como frontend, Laravel como backend y MySQL como base de datos. La comunicación se establece mediante API RESTful entre React y Laravel, mientras que Laravel gestiona la lógica de negocio e integra la API que incluye el modelo GPT-3.5-turbo de OpenAI. La Figura 1 presenta el diagrama arquitectónico con el flujo de datos del sistema.

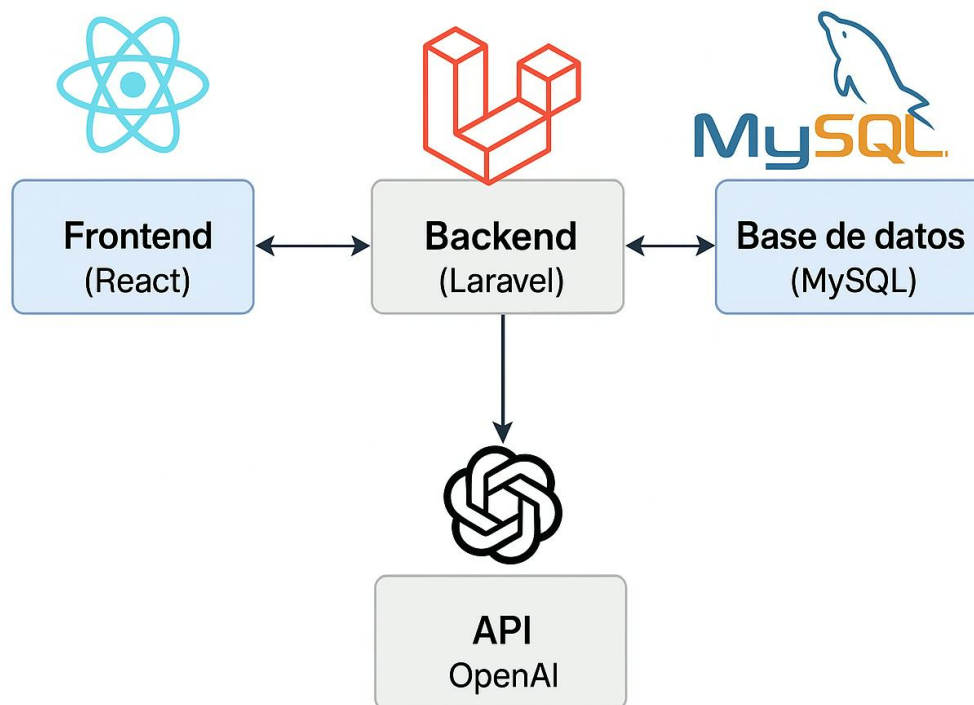


Figura 1. Diagrama de arquitectura

La configuración de la base de datos se organiza en cuatro entidades principales: usuarios, incidentes, servicios y soluciones, con relaciones establecidas mediante claves foráneas donde cada incidente se asocia a un usuario y servicio específico. La Figura 2 presenta el esquema de relación entre entidades del sistema.

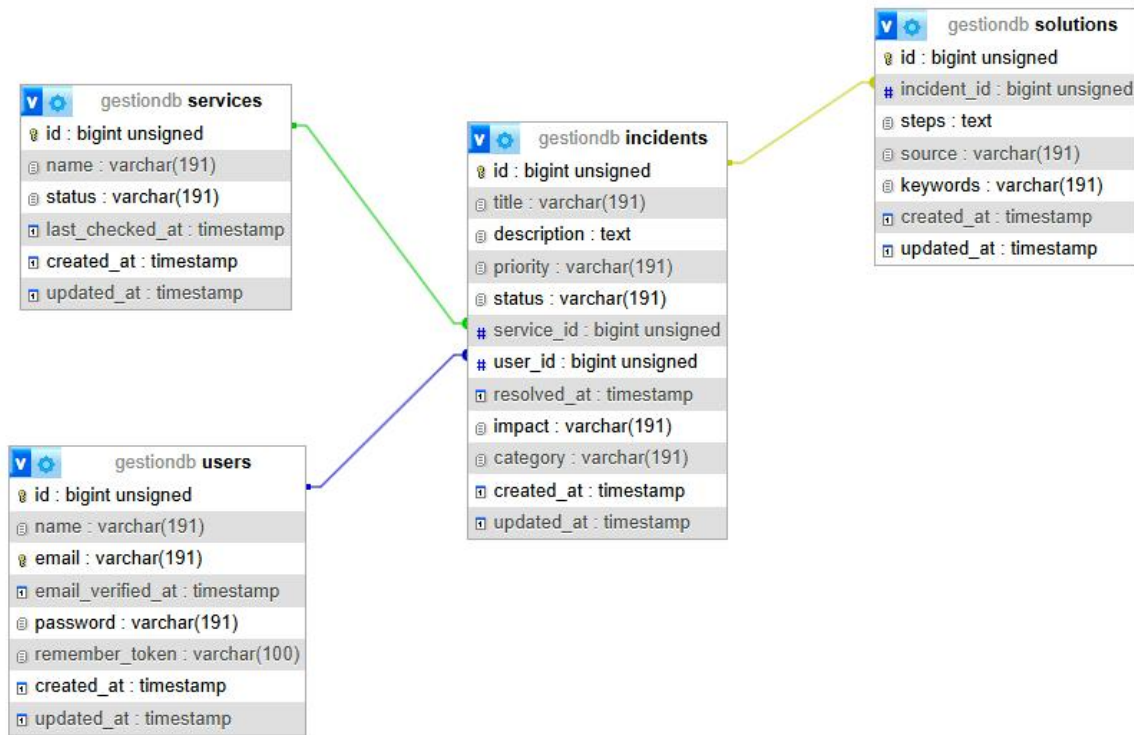


Figura 2. Base de datos

## Metodología de desarrollo

Se implementó la metodología ágil SCRUM durante un periodo de 2 semanas con ceremonias de planning, daily standups, review y retrospective. El desarrollo se estructuró en las siguientes fases: análisis de requerimientos, diseño UX/UI, desarrollo backend con Laravel, integración de OpenAI API, implementación frontend con React, deployment en producción y pruebas con usuarios reales.

## Integración con OpenAI

La integración con GPT-3.5-turbo se realizó mediante técnicas de prompt engineering, específicamente utilizando asignación de roles (role prompting) donde se instruye al modelo: ".Eres un asistente experto en soporte TI. Ofrece pasos claros y concisos." Se configuraron parámetros de temperatura baja (0.3) para respuestas más determinísticas y un límite de tokens apropiado para soluciones concisas.

El sistema implementa dos procesos principales con la API de OpenAI: clasificación automática de prioridades y generación de soluciones. Para la clasificación, se determina automáticamente la prioridad (Alta, Media, Baja) basándose en la descripción del incidente. Para la generación de soluciones, el sistema construye un prompt contextualizado que solicita al LLM generar pasos numerados y específicos de resolución.

La Figura 3 demuestra una solución generada para un incidente de "Falla de conexión con VPS", donde el sistema produjo automáticamente siete pasos específicos de resolución y cambió el estado a "En Proceso", evidenciando la capacidad del modelo para generar soluciones técnicas contextualizadas.

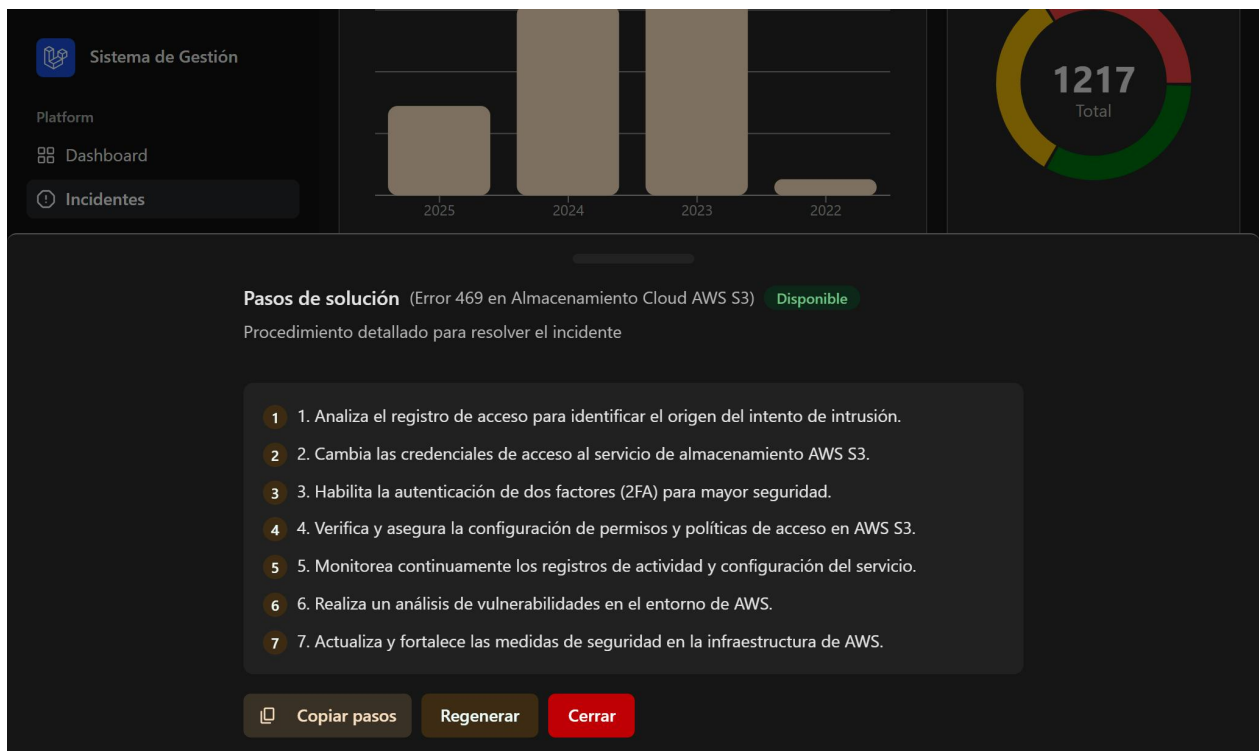


Figura 3. Solución generada

Para culminar el proceso, el usuario debe valerse del menú de acciones para marcar manualmente el incidente como resuelto, pasando el estado a Cerrado anotando la fecha de resolución, lo que proporciona trazabilidad total del trabajo llevado a cabo, desde la apertura del registro inicial, hasta el cierre del incidente.

## Validación

Se aplicó el criterio de evaluación a 75 casos reales y representativos de incidentes vinculados con las tecnologías de la información, obtenidos de 3 conjuntos de datos principales: *Vulnerability Fix Dataset*, *IT Troubleshooting Dataset* y *Tech Support Conversations Dataset*. El criterio se basó en determinar si las sugerencias generadas por la aplicación web coincidían total o parcialmente con las soluciones aplicadas a los incidentes o vulnerabilidades, siendo catalogadas como sugerencias correctas, o incorrectas si la sugerencia no es acorde a la solución real.

Se realizó un formulario de validación a 80 alumnos y graduados de la carrera profesional de Ingeniería de Sistemas e Ingeniería Informática, quienes afirman poseer entre 1 y 5 años de experiencia en el área de asistencia técnica. Cada participante evaluó las sugerencias generadas por la aplicación web a diferentes casos de inconvenientes de TI, determinando su funcionalidad y utilidad.

## Resultados y discusión

Como se evidencia en la Tabla 1, la aplicación demostró una precisión promedio del 77.3% en la generación de sugerencias técnicamente correctas. Los incidentes relacionados con problemas de software obtuvieron los mejores resultados con un 85% de precisión, mientras que los problemas de hardware presentaron mayor variabilidad en la calidad de las respuestas con un 67.7%.

Tabla 1. Precisión de sugerencias por categoría de incidente

<b>Categoría</b>	<b>Casos evaluados</b>	<b>Sugerencias correctas</b>	<b>Precisión (%)</b>
<b>Problemas de red</b>	18	14	77.8
<b>Software</b>	20	17	85
<b>Hardware</b>	15	10	66.7
<b>Sistemas Operativos</b>	12	9	75
<b>Seguridad</b>	10	8	80
<b>TOTAL</b>	75	58	77.3 %

La Tabla 2 muestra el análisis de correspondencia entre las sugerencias de la herramienta y las soluciones documentadas en los conjuntos de datos. Se observa que el 29.3% de los casos generaron sugerencias que coinciden directamente con las soluciones de referencia, mientras que un 46.6% adicional proporcionó sugerencias parcialmente alineadas.

Tabla 2. Correspondencia con soluciones de referencia

Nivel de correspondencia	Casos	Porcentaje (%)	Descripción
<b>Correspondencia completa</b>	22	29.3	Sugerencias idénticas o equivalentes
<b>Correspondencia parcial</b>	35	46.6	Sugerencias complementarias correctas
<b>Orientación incorrecta</b>	14	18.6	Sugerencias divergen de la problemática
<b>Sin correspondencia</b>	4	5.3	Sugerencias no alineadas

Como se muestra en la Figura 4, el 33.8% de los encuestados son egresados y seguidamente se encuentran el 28.7% de estudiantes de último año. El mayor porcentaje de encuestados (32.5%) afirma contar con un año de experiencia en el campo de soporte según la Figura 5.

Semestre actual cursando:  
 80 respuestas

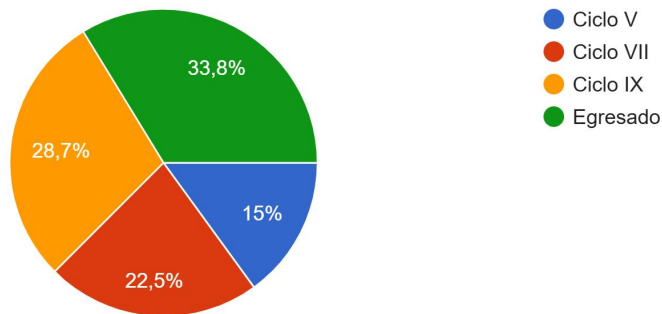


Figura 4. Porcentaje de estudiantes y egresados encuestados

Experiencia previa en soporte técnico o resolución de incidentes de hardware/software en años:  
80 respuestas

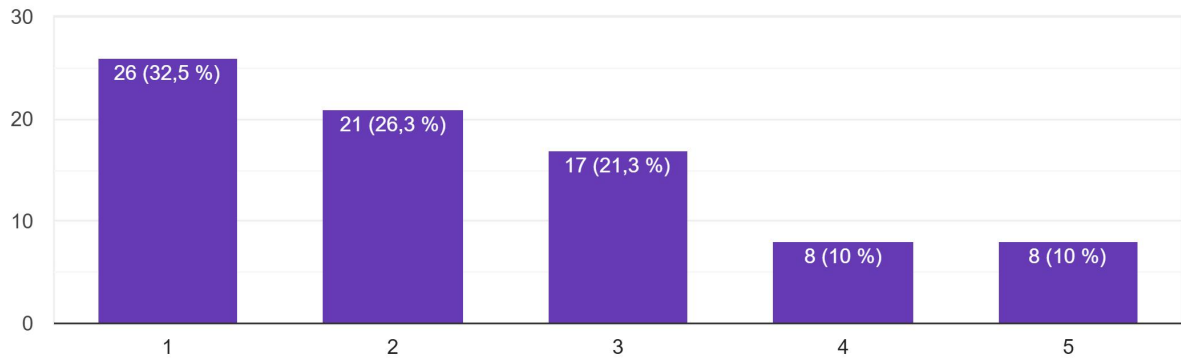


Figura 5. Años de trayectoria en asistencia técnica de encuestados

Se aplicó una sección de la encuesta orientada a los casos de evaluación. Según la Figura 6, se observa que el 38.8% de usuarios encuestados generó dos veces la sugerencia a su incidente para encontrarla relevante, mientras que el 25% lo hizo al generar la sugerencia por primera vez.

¿Cuántas sugerencias tuviste que revisar antes de encontrar una relevante? \_\_\_\_

80 respuestas

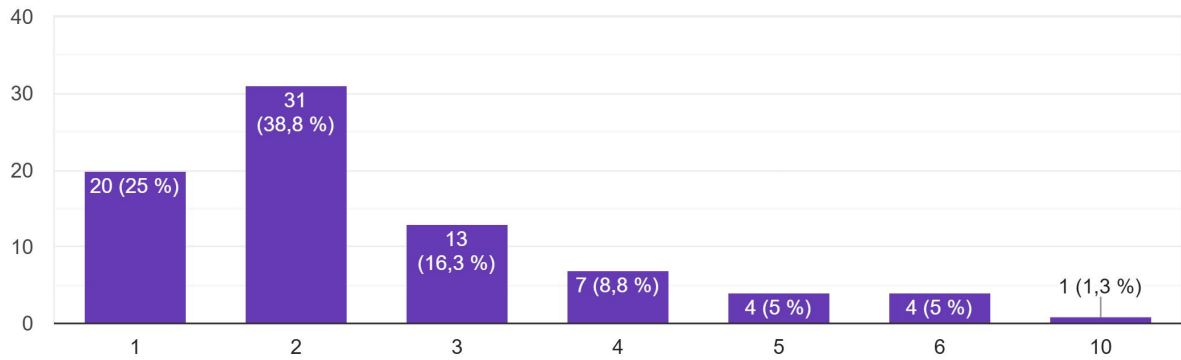


Figura 6. Cantidad de sugerencias para obtener una de relevancia

Según la Figura 7, el 56.3% de encuestados resolvió de forma parcial su inconveniente guiándose de las sugerencias, mientras que el 37.5% lo hizo completamente.

¿Pudiste resolver tu incidente(s) con las sugerencias proporcionadas?

80 respuestas

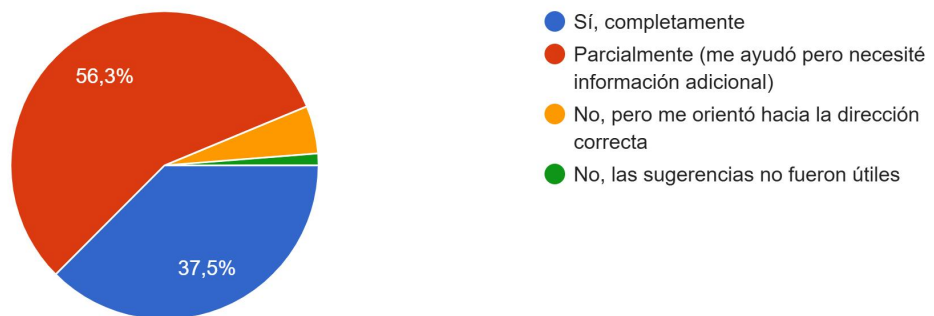


Figura 7. Porcentaje de encuestados que solucionaron sus inconvenientes

Según la Figura 8, el 46.3% de encuestados fue definitivamente orientado para encontrar la solución a su incidente, mientras que el 40% determinó que fue parcialmente orientado hacia la solución.

Si no pudiste resolverlo completamente, ¿las sugerencias te orientaron hacia la solución correcta?  
80 respuestas

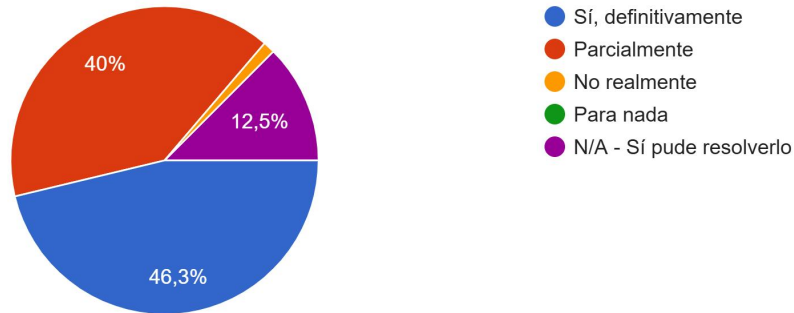


Figura 8. Nivel de correspondencia entre incidente y sugerencia generada

Finalmente, el 33.8% de los encuestados calificó la usabilidad de la aplicación con una puntuación de 8 mientras que el 22.5% la calificó con una puntuación de 9, en una escala del 1-10, según la Figura 9.

### ¿Qué tan fácil de usar (user-friendly) consideras que es la herramienta?

80 respuestas

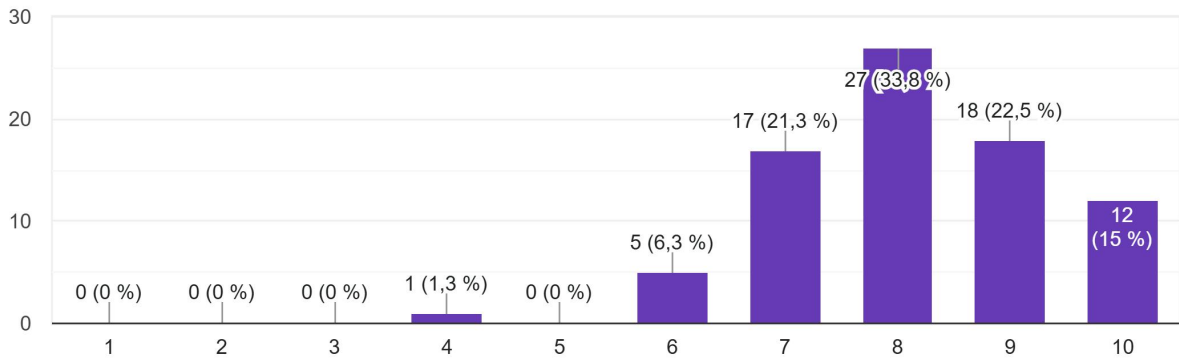


Figura 9. Nivel de usabilidad percibida por los usuarios encuestados

Los resultados muestran que la herramienta tiene una tasa de precisión técnica del 77,3%, lo que supone una gran mejora con respecto a los sistemas tradicionales de *ticketing*, que necesitan que una persona se encargue de escalar el problema en el 40-60% de los casos. Las diferencias entre los distintos tipos de casos sugieren que el modelo LLM es más adecuado para los problemas de software, en los que se dispone de una documentación más estructurada. En cambio, los problemas de hardware requieren una estructura más organizada y específica.

La tasa de resolución exitosa, donde el 37.5% de participantes resolvió completamente su inconveniente y el 56.3% lo hizo parcialmente, demuestra que la herramienta cumple efectivamente su propósito de asistencia técnica. Estos resultados son particularmente significativos considerando que los participantes tenían niveles variados de experiencia (1-5 años), lo que sugiere que la herramienta es útil tanto para técnicos junior como para profesionales con mayor experiencia.

La evaluación de usabilidad, con concentración de calificaciones entre 8 y 9 puntos (56.3% de participantes), indica que la interfaz desarrollada en React logra un equilibrio efectivo entre funcionalidad y facilidad de uso. Esta métrica es crucial para la adopción real de la herramienta en entornos operacionales donde la eficiencia del flujo de trabajo es prioritaria.

## Conclusiones

La validación realizada confirma que la aplicación web desarrollada cumple con el objetivo principal, el de asistir a técnicos en la gestión de incidentes de TI mediante la generación de sugerencias técnicas y clasificación de prioridades. Los resultados obtenidos sobre la precisión técnica del 77.3 % son muy optimistas para el estudio del campo y valida la efectividad del uso de LLMs en procesos de soporte técnico.

Este artículo constituye una aportación al ámbito de la gestión automatizada de incidentes de TI porque demuestra que caminando hacia una combinación de LLMs y técnicas de prompt engineering se pueden obtener soluciones adecuadas a su contexto y técnicamente precisas.

Los resultados sobre la variabilidad en la precisión a partir de las categorías de incidentes, fundamentalmente software y hardware, ponen de manifiesto hallazgos interesantes para futuras investigaciones y el desarrollo reciente de sistemas. La disimilitud de precisión indica nuevas posibilidades de desarrollo de modelos por dominio específico o de implementación de técnicas de fine-tuning para mejorar el rendimiento de las categorías con menos precisión.

Para la investigación futura, se sugiere investigar la introducción de estrategias de aprendizaje constante que asistan al sistema en la optimización de respuestas derivadas de la retroalimentación que viene de resoluciones exitosas.

Este trabajo confirma que la introducción estratégica de IA a la transformación digital permite mejorar la eficiencia operativa sin grandes inversiones en infraestructura y sin necesidad de reentrenar al personal.

## Contribución de Autoría

Luigi Anthony Rosas Pérez: [Conceptualización](#), [Investigación](#), [Metodología](#), [Software](#), [Validación](#), [Redacción - borrador original](#). Diego Sebastián Vásquez Jaramillo: [Conceptualización](#), [Investigación](#), [Metodología](#), [Software](#), [Validación](#), [Redacción - borrador original](#). Luis Daniel Zavaleta Mego: [Conceptualización](#), [Investigación](#), [Metodología](#), [Software](#), [Validación](#), [Redacción - borrador original](#). Alberto Carlos Mendoza de los Santos: [Investigación](#), [Análisis formal](#), [Visualización](#), [Supervisión](#), [Validación](#), [Redacción - borrador original](#).

## Referencias

- [1] D. X. Long *et al.*, “Multi-expert prompting improves reliability, safety, and usefulness of large language models,” *arXiv preprint arXiv:2411.00492*, 2024.

- [2] L. S. Benitez Pereira *et al.*, “Machine learning for classification of it support tickets,” in *2023 International Conference on Cyber Management and Engineering (CyMaEn)*, 2023.
- [3] V. Scotti and M. J. Carman, “Llm support for real-time technical assistance,” in *Proceedings of the 2024 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*, 2024.
- [4] R. Russo. Multi-agent llm frameworks: A new paradigm in problem solving. Medium. [Online]. Available: <https://medium.com/bip-xtech/multi-agent-llm-frameworks-a-new-paradigm-in-problem-solving-c03abdae6433>
- [5] L. S. Benitez Pereira, R. Pizzio, S. Bonho, L. Souza, and A. Junior, “Machine learning for classification of it support tickets,” in *2023 International Conference on Cyber Management and Engineering (CyMaEn)*, 2023, pp. 210–213.
- [6] Anonymous, “Enhancing llm code generation: A systematic evaluation of multi-agent collaboration and runtime debugging for improved accuracy, reliability, and latency,” *arXiv preprint arXiv:2505.02133v1*, 2024.
- [7] —, “Llm support for real-time technical assistance,” *ResearchGate*, 2024.
- [8] L. X. Do *et al.*, “Multi-expert prompting improves reliability, safety, and usefulness of large language models,” *arXiv preprint arXiv:2411.00492*, 2024.
- [9] Y. Hao *et al.*, “Planning anything with rigor: General-purpose zero-shot planning with llm-based formalized programming,” *MIT News*, 2025.
- [10] Purple Griffon. (2024) Incident categorisation in itsm. [Online]. Available: <https://purplegriffon.com/blog/incident-categorisation>
- [11] S. Russell and P. Norvig, *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, 4th ed. Pearson, 2020.
- [12] Y. Huang *et al.*, “Advancing transformer architecture in long-context large language models: A comprehensive survey,” *arXiv preprint arXiv:2311.12351*, 2023.
- [13] P. Sahoo *et al.*, “A systematic survey of prompt engineering in large language models: Techniques and applications,” *arXiv preprint arXiv:2402.07927*, 2024.
- [14] Laravel Documentation, “Laravel - the php framework for web artisans,” <https://laravel.com/docs>, 2025.
- [15] Oracle Corporation, “Mysql reference manual,” <https://dev.mysql.com/doc>, 2025.
- [16] T. B. Brown *et al.*, “Language models are few-shot learners,” *NeurIPS*, vol. 33, 2020.



Tipo de artículo: Artículos originales  
Temática: Tecnologías de la información y las comunicaciones  
Recibido: 22/10/2024 | Aceptado: 29/11/2024 | Publicado: 30/09/2025

Identificadores persistentes:  
DOI: [10.48168/innosoft.s24.a313](https://doi.org/10.48168/innosoft.s24.a313)  
ARK: [ark:/42411/s24.a313](https://nbn-resolving.org/ark:/42411/s24.a313)  
PURL: [42411/s24.a313](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:org:ulasalle:42411-s24-a313)

# Impacto de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) en la Integración de la Cadena de Suministro en Proyectos de Construcción

## *Impact of Information and Communication Technologies (ICT) on Supply Chain Integration in Construction Projects*

Sergio Nicola Quispe Salazar<sup>1\*</sup>, Betsy Junelly Julca Santa Cruz<sup>2</sup>, Luis Alonzo De Francisco Valverde Rebaza<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú. [snquispe@unitru.edu.pe](mailto:snquispe@unitru.edu.pe)

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú. [bjulcas@unitru.edu.pe](mailto:bjulcas@unitru.edu.pe)

<sup>3</sup>Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú. [lvalverder@unitru.edu.pe](mailto:lvalverder@unitru.edu.pe)

\*Autor para correspondencia: [snquispe@unitru.edu.pe](mailto:snquispe@unitru.edu.pe)

---

### Resumen

En los últimos años, el sector de la construcción ha experimentado una transformación significativa impulsada por la digitalización. En este contexto, ha cobrado especial relevancia el uso de Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) como medio para optimizar la gestión de la cadena de suministro (SCM). Estas tecnologías no solo han demostrado ser útiles para mejorar la trazabilidad y la eficiencia en los procesos constructivos, sino que también han contribuido a fortalecer la comunicación entre los distintos actores que participan a lo largo del ciclo de vida del proyecto. Diversos estudios recientes han resaltado los beneficios de herramientas digitales como BIM (Modelado de Información para la Construcción), el Internet de las Cosas (IoT), el blockchain y las plataformas colaborativas, que permiten una gestión más integrada y transparente de los proyectos (Wu et al., 2022; Celik et al., 2023). Esta revisión sistemática, basada en el análisis de 30 artículos científicos indexados entre los años 2019 y 2024, evidencia que la aplicación de estas tecnologías favorece la coordinación interorganizacional, reduce la probabilidad de errores y aumenta la capacidad del sistema para adaptarse a cambios e imprevistos (Hargaden et al., 2021; Fernandez-Carames et al., 2024). Sin embargo, también se identifican diversos desafíos que dificultan su implementación. Entre ellos destacan la falta de estándares comunes, la resistencia al cambio por parte de los equipos, los altos costos iniciales y una limitada formación en competencias digitales. A pesar de estas barreras, los investigadores coinciden en que, si se establecen marcos normativos adecuados y se fortalece la gobernanza digital, es posible facilitar una adopción más generalizada de las TIC en los proyectos de construcción. Esto permitiría aprovechar al máximo su potencial en la mejora e integración de la cadena de suministro (Qian & Papadonikolaki, 2020; Sharma et al., 2023).

**Palabras claves:** Tecnologías de la Información, Cadena de Suministro, BIM, Blockchain, Construcción, TIC, IoT, Proyectos.

### Abstract

*In recent years, the construction sector has undergone a significant transformation driven by digitalization. In this context, the use of Information and Communication Technologies (ICT) as a means of optimizing supply chain management (SCM) has gained particular relevance. These technologies have not only proven useful in improving traceability and efficiency in construction processes, but have also contributed to strengthening communication between the various stakeholders involved throughout the project lifecycle. Several recent studies have highlighted the benefits of digital tools such as BIM (Building Information Modeling), the Internet of Things (IoT), blockchain, and platforms. Collaborative technologies, which enable more integrated and transparent project management (Wu et al., 2022; Celik et al., 2023). This systematic review, based on the analysis of 30 scientific articles indexed between 2019 and 2024, shows that the application of these technologies favors interorganizational coordination, reduces the likelihood of errors, and increases the system's capacity to adapt to changes and unforeseen events (Hargaden et al., 2021; Fernandez-Carames et al., 2024). However, several challenges are also identified that hinder their implementation. These include a lack of common standards, resistance to change on the part of teams, high initial costs, and limited training in digital skills. Despite these barriers, researchers agree that establishing appropriate regulatory frameworks and strengthening digital governance can facilitate a more widespread adoption of ICTs in construction projects. This would allow to fully exploit its potential in the improvement and integration of the supply chain (Qian & Papadonikolaki, 2020; Sharma et al., 2023).*

**Keywords:** *Information Technology, Supply Chain, BIM, Blockchain, Construction, ICT, IoT, Projects.*

---

## Introducción

Dentro de los 10 últimos años, el sector de la construcción ha iniciado a implementar de forma progresiva varias Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), con el objetivo de afrontar los problemas frecuentes como la división de procesos, la disminución de la productividad y la deficiente visibilidad a lo largo de la cadena de suministro [1]. La necesidad de una gestión más integrada de dicha cadena (SCM) donde adquiere relevancia en un contexto caracterizado por la intervención de varias partes interesadas, disciplinas y flujos de información que demandan una sincronización continua y eficaz [2].

Entre las soluciones digitales más implementadas resaltan, el blockchain, el Modelado de Información para la Construcción (BIM), el Internet de las Cosas (IoT), los sistemas de planificación de recursos empresariales (ERP) y distintos sistemas de trabajo colaborativas. Estas tecnologías han mostrado un notable potencial para mejorar la comunicación, reducir los errores operativos y industrializar actividades rutinarias [3]. La evolución digital no solo incorpora la productividad técnica, sino que también refuerza aspectos como la transparencia, la sostenibilidad y el control de calidad en los proyectos de construcción [4, 5].

A pesar de ello, todavía hay parámetros significativos que obstaculizan una adopción integral. Destacan, entre las más concurrentes son los problemas de interoperabilidad entre plataformas, la ausencia de normas estandarizadas, la resistencia al cambio en las organizaciones y la escasa inversión en capacitación digital [6].

Dentro de este enfoque, el actual artículo toma como objetivo analizar el impacto real que tienen las TIC en

la integración de la cadena de suministro dentro del sector de la construcción. Para ello, se realiza una revisión sistemática de 30 publicaciones científicas relevantes, publicadas entre los años 2019 y 2024, que facilitan entender los avances, las barreras existentes y oportunidades en este campo.

## **Materiales y métodos o Metodología**

Para desarrollar esta investigación, se optó por un enfoque de revisión sistemática, centrado en la recopilación y análisis de artículos científicos relacionados con el uso de Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) en la gestión de la cadena de suministro (SCM) dentro del sector construcción. La búsqueda se llevó a cabo principalmente en bases de datos reconocidas como Scopus y ScienceDirect, considerando criterios de inclusión previamente establecidos: publicaciones en español o inglés, un rango temporal entre 2019 y 2024, y un enfoque específico en la aplicación de TIC en entornos constructivos.

Inicialmente se identificó un conjunto amplio de artículos, del cual se seleccionaron 30 estudios tras aplicar filtros rigurosos relacionados con la calidad metodológica, la relevancia temática y la disponibilidad de acceso al texto completo. A través de un análisis cualitativo, fue posible clasificar las tecnologías tratadas en cada estudio, así como identificar sus principales beneficios, desafíos, niveles de madurez tecnológica y su grado de integración en los distintos procesos de los proyectos.

La extracción de datos se realizó de forma manual, organizando la información en función de las categorías temáticas previamente definidas. Posteriormente, se aplicó un análisis comparativo que permitió reconocer patrones recurrentes, relaciones entre distintas tecnologías y enfoques estratégicos para fomentar la integración interorganizacional en proyectos de construcción caracterizados por su complejidad.

## **Resultados y discusión**

### **Tecnologías TIC más frecuentes en SCM de construcción**

Entre las diferentes tecnologías identificadas en la revisión, destaca de manera significativa el uso del Modelado de Información para la Construcción (BIM), el cual se posiciona como la herramienta más empleada para lograr la integración digital en los proyectos del sector. Esta plataforma ha demostrado ser clave para centralizar información, facilitar la coordinación entre equipos y optimizar la planificación.

En segundo lugar, tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT) y los sistemas de identificación por radiofrecuencia (RFID) también tienen una fuerte presencia, debido a su capacidad para vincular datos del entorno físico con sistemas digitales en tiempo real, mejorando el seguimiento de materiales, equipos y procesos. Por

otro lado, aunque aún en proceso de consolidación, el blockchain y los contratos inteligentes están empezando a ganar espacio en el sector, principalmente por su potencial para mejorar la trazabilidad, aumentar la transparencia en las transacciones y automatizar procesos críticos [3, 7].

La siguiente tabla (Tabla 1) presenta un resumen de la frecuencia con la que estas tecnologías fueron abordadas en los artículos científicos analizados, lo que permite tener una visión comparativa de su adopción y relevancia actual en el ámbito de la construcción.

Tabla 1. Frecuencia de Tecnologías TIC en los artículos revisados

Tecnología TIC	Nº de Artículos (n=30)	Principales Aplicaciones
BIM	24	Modelado colaborativo, planificación 4D/5D, control documental
IoT / RFID	18	Trazabilidad en obra, control de inventario, ubicación de recursos
Blockchain	14	Contratos inteligentes, pagos automatizados, trazabilidad
ERP	9	Integración administrativa y financiera
Contratos inteligentes	10	Automatización de pagos por avance de obra
Plataformas colaborativas	15	Comunicación y coordinación entre actores

### Beneficios documentados de las TIC en SCM de construcción

En general, los estudios revisados coinciden en destacar una serie de beneficios concretos asociados a la integración de tecnologías digitales en la gestión de la cadena de suministro dentro del sector construcción. Estos beneficios no solo mejoran aspectos operativos, sino que también fortalecen la toma de decisiones, la colaboración entre actores y la eficiencia en tiempo y recursos.

Tabla 2. Beneficios identificados en la integración TIC-SCM en construcción

Beneficio observado	Tecnologías asociadas	Referencia clave
Mejora de trazabilidad y control logístico	IoT, RFID, BIM	[2, 8, 9]

Beneficio observado	Tecnologías asociadas	Referencia clave
Reducción de errores y reprocesos	BIM, ERP	[3, 4]
Automatización de pagos y contratos	Blockchain, Smart Contracts	[10, 11]
Mayor colaboración entre actores	Plataformas colaborativas, SSI	[5, 12]
Resiliencia ante interrupciones	IoT, ERP, Web Services	[6, 13]

### Gráfico: Tecnologías más utilizadas

Para facilitar la comprensión de los hallazgos, se ha elaborado el siguiente gráfico, el cual permite visualizar de manera clara cómo se distribuyen las tecnologías más mencionadas en los estudios analizados. Esta representación gráfica ayuda a identificar cuáles herramientas digitales tienen mayor presencia en el ámbito de la construcción y qué nivel de protagonismo han alcanzado en la integración de la cadena de suministro.

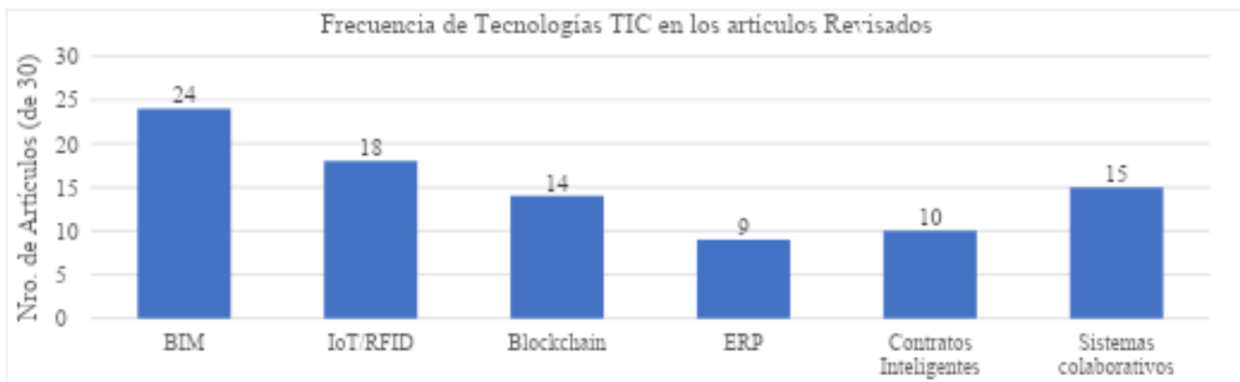


Figura 1. Frecuencia de tecnologías TIC en los artículos analizados

El gráfico presentado respalda la posición central que ocupa BIM como tecnología clave en la integración de procesos dentro de los proyectos de construcción. Le siguen de cerca las soluciones basadas en sensores, como IoT y RFID, mientras que tecnologías emergentes como blockchain, aunque aún no son mayoritarias, empiezan a posicionarse como una alternativa innovadora con gran potencial de desarrollo.

Más allá de los beneficios generales previamente abordados, varios estudios destacan el impacto que tienen

las TIC sobre la eficiencia operativa en cada etapa de la cadena de suministro. Por ejemplo, la integración entre plataformas como BIM y los sistemas ERP ha permitido estandarizar procesos entre contratistas y proveedores, lo que se traduce en una reducción de retrabajos y una mejora sustancial en la precisión del manejo de insumos [1,3]. En este sentido, la interoperabilidad entre herramientas digitales y la normalización de formatos se vuelven elementos clave para lograr una comunicación efectiva entre plataformas y actores diversos.

En contextos donde la madurez digital es más avanzada, como en Reino Unido o los Países Bajos, la combinación de plataformas colaborativas con sensores IoT ha generado mejoras significativas, incluyendo una reducción de hasta un 25 % en errores de entrega en obras de edificación industrial [2,7]. Por el contrario, en América Latina el avance ha sido más heterogéneo. Según el estudio de [14], en países como Chile y México se han observado avances concretos en trazabilidad y eficiencia logística, aunque aún persisten barreras estructurales y culturales que limitan una adopción más amplia.

Comprender el impacto de las TIC también implica analizar cómo se distribuyen los beneficios entre los distintos actores que forman parte del ecosistema constructivo. A continuación, se muestra una tabla que clasifica estos beneficios según los principales grupos de interés involucrados en la cadena de suministro.

Tabla 3. Clasificación de beneficios TIC por actor en la cadena de suministro

<b>Actor</b>	<b>Beneficios Principales</b>	<b>Referencia Clave</b>
Cliente	Mayor visibilidad del proyecto, reducción de incertidumbre, trazabilidad contractual	[6,8]
Contratista	Optimización del flujo de materiales, reducción de errores, toma de decisiones basada en datos	[15,16]
Proveedor / Subcontrata	Integración en procesos de planificación, entregas a tiempo, menor retrabajo	[1,4]

Como complemento al análisis realizado, se incluye a continuación un gráfico comparativo que permite observar el nivel de adopción de tecnologías digitales según la función específica dentro de la cadena de suministro. Este gráfico se basa en experiencias recogidas de proyectos piloto desarrollados en distintas regiones, incluyendo Europa, Asia y América Latina, lo que permite contrastar enfoques y niveles de avance en contextos diversos.

Tabla 4. Nivel de adopción TIC según función en la cadena de suministro

<b>Función</b>	<b>Europa (%)</b>	<b>Asia (%)</b>	<b>América Latina (%)</b>
Planificación y diseño	85	78	62
Logística de materiales	72	65	51
Control de calidad	68	60	49
Gestión documental	90	83	58

Los datos analizados ponen sacan a relucir una notoria desigualdad en el nivel de adopción de TIC entre regiones, mayormente en áreas como la logística y el control de calidad. Esta brecha resalta la importancia de desarrollar estrategias que se ajusten a las singularidades de cada contexto local. Esta demostrado que la incorporación de tecnologías digitales en la construcción no sigue un patrón coincidente; por el contrario, su implementación y efectividad están fuertemente influenciadas por elementos organizativos, marcos regulatorios y el grado de desarrollo tecnológico disponible en cada entorno.

Los hallazgos de esta revisión sostienen la idea de que las TIC no solo representan una modernización de los procesos habituales en la cadena de suministro del sector construcción, sino que también están transformando profundamente los modelos de colaboración, logística y gestión financiera. A este respecto, el papel principal de BIM resulta coherente, dada su capacidad para integrar distintos ciclos del proyecto desde el diseño hasta el mantenimiento dentro de una misma plataforma de información. Al proceder como eje central, BIM aporta significativamente a reducir errores de interpretación y a fortalecer la coordinación entre disciplinas [1,3].

No obstante, es importante rotular que el éxito de estas tecnologías no depende únicamente de su disponibilidad, sino también de variables humanas. La cultura organizacional y el nivel de competencias digitales de los profesionales involucrados son concluyentes para que estas herramientas efectúen realmente con su promesa de transformación.

Un punto clave que asoma del análisis es la función que cumplen las tecnologías sensoriales, como el Internet de las Cosas (IoT) y los sistemas de identificación por radiofrecuencia (RFID). Estos Instrumentos permiten enlazar el entorno físico con los modelos digitales, particularmente con plataformas como BIM. Gracias a la integración de sensores en materiales, equipos y personal, se obtiene una visibilidad operativa en tiempo real, lo que favorece el control eficiente del inventario, acrecienta la seguridad en el lugar de trabajo y mejora la logística en obras complejas [2,8]. Esta capa de inteligencia operativa se vuelve especialmente significativo en proyectos con amplia dispersión geográfica o múltiples frentes de trabajo activos al mismo tiempo.

Por su parte, tecnologías emergentes como el blockchain y los contratos inteligentes ofrecen nuevas posibilidades para fortalecer la transparencia en la gestión contractual. Su capacidad para registrar de manera inalterable el cumplimiento de hitos y automatizar procesos de pago puede contribuir significativamente a reducir disputas y a generar mayor confianza entre las partes involucradas [10, 11]. No obstante, su aplicación en el sector aún enfrenta obstáculos importantes, como la ausencia de normativas claras, la limitada interoperabilidad con otros sistemas y la falta de experiencias prácticas en entornos reales de construcción.

Asimismo, las plataformas colaborativas y los sistemas de planificación de recursos empresariales (ERP) fueron asiduamente mencionados como elementos sustanciales para la integración de procesos. El acoplamiento de ambos permite conectar las dimensiones técnicas y administrativas del proyecto, lo cual resulta inherente para una toma de decisiones más rápida, informada y coordinada [6, 13]. Esta adscripción sistémica es especialmente relevante en obras de gran envergadura, donde el riesgo económico y la complejidad operativa exigen un nivel eminente de eficiencia y sincronización.

A pesar de los avances observados, la revisión también hace visible una serie de barreras que dificultan la integración efectiva de las TIC en la cadena de suministro del sector construcción. Entre los principales impedimentos se encuentran la escasa homogenización de protocolos, la renuencia al cambio especialmente por parte de profesionales con mayor experiencia, la falta de capacitación técnica especializada y los elevados costos iniciales que implica la adopción de estas herramientas. Además, se mantiene una notable brecha entre los países con hábitats tecnológicos más desarrollados y aquellos que aún enfrentan demarcaciones estructurales en términos de madurez digital [17, 18].

En este contexto, se vuelve cada vez más urgente establecer marcos de gobernanza digital que articulen normas técnicas, estándares de interoperabilidad y estrategias de capacitación conjunta que involucren tanto al sector privado como a la academia y al Estado. Sin estos elementos, resulta difícil consolidar una cadena de suministro integrada, resiliente y alineada con los principios de sostenibilidad.

Uno de los retos más persistentes es la resistencia organizacional al cambio. Las estructuras jerárquicas tradicionales y la limitada cultura de trabajo colaborativo siguen siendo factores que entorpecen la adopción de plataformas como BIM colaborativo o mecanismos automatizados como los contratos inteligentes [19, 20]. Incluso cuando existe capacidad técnica dentro de las organizaciones, la falta de una visión estratégica compartida entre áreas clave —como ingeniería, logística y administración— impide aprovechar plenamente los beneficios de estas tecnologías.

Asimismo, la integración tecnológica no se limita a la obtención de herramientas digitales; requiere una inversión sostenida en formación y actualización del talento humano. Diversos estudios en proyectos piloto advierten

que, sin un proceso adecuado de aprendizaje y adaptación, las TIC pueden convertirse más en una carga que en una solución. En este sentido, autores como [10] destacan que la construcción de “confianza digital” entre los involucrados es un componente decisivo para el éxito de soluciones basadas en trazabilidad, como las que ofrece el blockchain. De lo contrario, estas herramientas quedan relegadas a un uso meramente documental, sin impacto real en la operación.

Otro aspecto analítico es la ausencia de marcos normativos claros que miden el uso de estas tecnologías dentro del sector. Mientras que países como el Reino Unido han logrado avances importantes mediante la publicación de estándares oficiales y manuales BIM, en otros contextos todavía no existen lineamientos que orienten la implementación. Esta falta de regulación impide alcanzar la interoperabilidad necesaria y limita las posibilidades de contratar y gestionar obras basándose en datos digitales confiables [21]. Como consecuencia, muchas soluciones exitosas no logran escalar ni replicarse a nivel nacional o regional.

El análisis comparativo muestra que los proyectos más exitosos en cuanto a integración digital son aquellos que combinan varias tecnologías de forma estratégica, en lugar de aplicarlas de manera aislada. Casos en los que se utilizan drones para el seguimiento de obra, blockchain para la gestión de contratos, e IoT para el monitoreo ambiental, reflejan un enfoque sistémico que potencia el funcionamiento de toda la cadena [5]. Estos resultados respaldan la necesidad de desarrollar un marco conceptual que defina niveles de integración digital ajustados al grado de madurez tecnológica y organizacional de cada proyecto.

## Conclusiones

1. Las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) se han convertido en piezas clave para lograr una integración real de la cadena de suministro en los proyectos de construcción. Gracias a ellas, es posible establecer canales de comunicación más fluidos, mejorar la coordinación entre los distintos actores involucrados y facilitar una toma de decisiones más precisa y oportuna. Herramientas como BIM, IoT, blockchain y ERP han mostrado un alto potencial para reducir la fragmentación que tradicionalmente ha caracterizado al sector.
2. Dentro de este conjunto de tecnologías, el Building Information Modeling (BIM) destaca como la solución más ampliamente adoptada. Su valor no solo radica en la posibilidad de modelar digitalmente todos los aspectos del proyecto, sino en su capacidad para funcionar como plataforma integradora de otras tecnologías complementarias. Al conectarse con sensores IoT, contratos inteligentes o sistemas ERP, BIM refuerza la trazabilidad de los procesos y la interoperabilidad entre sistemas.
3. Por su parte, tecnologías emergentes como el blockchain y los contratos inteligentes ofrecen un gran potencial para transformar prácticas convencionales, sobre todo en los procesos vinculados a la contratación

y los pagos. Su aplicación puede fortalecer la transparencia, reducir los conflictos legales y automatizar condiciones contractuales. No obstante, su implementación aún se ve limitada por la ausencia de marcos regulatorios claros y por el desconocimiento técnico que persiste en muchos equipos de trabajo.

4. A pesar de los beneficios reconocidos, la incorporación efectiva de estas tecnologías todavía enfrenta varios desafíos importantes. Entre ellos, destacan la resistencia cultural al cambio, el alto costo inicial de inversión, la dispersión normativa y la falta de profesionales con competencias digitales avanzadas. Superar estas barreras requiere no solo iniciativas de formación técnica, sino también liderazgo institucional y políticas públicas alineadas con las necesidades del sector.
5. La interoperabilidad entre plataformas digitales y procesos constructivos aparece como un elemento esencial para avanzar hacia una cadena de suministro verdaderamente integrada. Esto exige el establecimiento de marcos comunes de gobernanza digital, el uso de protocolos estandarizados y la adopción de metodologías ágiles que faciliten la conexión continua entre los distintos actores, tanto internos como externos al proyecto.
6. Finalmente, el impacto positivo de las TIC va más allá de la mejora operativa: también contribuyen a elevar los estándares de sostenibilidad, resiliencia y calidad en la construcción. Para alcanzar estos beneficios de forma sostenida, es fundamental promover entornos colaborativos y ecosistemas digitales donde se fomente la innovación y el aprendizaje constante entre todos los involucrados.

## Contribución de Autoría

Sergio Nicola Quispe Salazar: [Conceptualización](#), [Investigación](#), [Redacción - borrador original](#). Betsy Junelly Julca Santa Cruz: [Metodología](#), [Curación de datos](#). Luis Alonzo De Francisco Valverde Rebaza: [Supervisión](#), [Escritura](#), [revisión y edición](#).

## Referencias

- [1] L. Wu *et al.*, “Vinculación de Blockchain autorizada a una plataforma IoT-BIM para la gestión de producción fuera de sitio en construcción modular,” *Computers in Industry*, 2022.
- [2] H. Wang, “Aplicación integrada de la información en construcción de edificios prefabricados basada en BIM y tecnología RFID,” *SAGE Journals*, 2023.
- [3] Y. Celik, I. Petri, and Y. Rezgui, “Integración de BIM y Blockchain a lo largo del ciclo de vida de la construcción y las cadenas de suministro,” *Computers in Industry*, 2023.

- [4] Chen *et al.*, “Estrategia operativa para una cadena de suministro en construcción: construcción modular integrada y adopción de blockchain,” *International Transactions in Operational Research*, 2024.
- [5] Fernández-Caramés *et al.*, “Sistema basado en drones y blockchain para inventario y trazabilidad en construcción,” 2024.
- [6] L. Sun, “Construcción de un sistema de información de gestión de la cadena de suministro basado en tecnología de composición de servicios web en red,” *SAGE Journals*, 2024.
- [7] Y. Xu *et al.*, “Cuando BIM se encuentra con Blockchain: una revisión de literatura con métodos mixtos,” *Journal of Civil Engineering and Management*, 2024.
- [8] G. Hargaden *et al.*, “Propuesta de sistema para la gestión de la información en el sector de la construcción basado en BIM, SSI, IoT y Blockchain,” *MDPI*, 2021.
- [9] L. Wang and Lin, “Control de gestión de la cadena de suministro mediante RFID móvil,” *Advanced Engineering Informatics*, 2007.
- [10] Qian and Papadonikolaki, “Cambio de confianza en la cadena de suministro en construcción a través de blockchain,” *Engineering, Construction and Architectural Management*, 2020.
- [11] Sonmez *et al.*, “Contrato inteligente BIM para la administración de pagos en proyectos de construcción,” *Automation in Construction*, 2022.
- [12] Shin *et al.*, “Marco RFID/WSN para una cadena de suministro inteligente en construcción,” *Automation in Construction*, 2011.
- [13] Sharma *et al.*, “Hacia una gestión sostenible y ética de la cadena de suministro: el potencial de las soluciones IoT,” 2023.
- [14] Choegni *et al.*, “Estado del arte de gemelos digitales y blockchain para la gestión de cadenas de suministro,” 2022.
- [15] X. Li, W. Lu, F. Xue, L. Wu, R. Zhao, J. Lou, and J. Xu, “Plataforma habilitada con blockchain e IoT-BIM para la gestión de la cadena de suministro en la construcción modular,” *Journal of Construction Engineering and Management*, 2022.
- [16] H. Hamledari and M. Fischer, “Medición del impacto de Blockchain y contratos inteligentes en la visibilidad de la cadena de suministro en construcción,” 2021.
- [17] A. Grilo and R. Jardim-Gonçalves, “Compras electrónicas en el sector AEC: una perspectiva integrada basada en BIM,” *Automation in Construction*, 2011.

- [18] M. Allaoui, Guo, and Sarkis, “El papel de las TIC en el intercambio de información y el rendimiento operativo en sistemas de producción,” *Journal of Cleaner Production*, 2019.
- [19] M. Voordijk and D. Haan, “Modularidad en la cadena de suministro: estudios de caso en construcción,” *International Journal of Operations & Production Management*, 2006.
- [20] C. Decanini Saldaña, *Integración de tecnologías de información para la gestión de la cadena de suministro y servicio al cliente*, Repositorio Tec de Monterrey, 2007.
- [21] S. Jiménez and H. Ramos, “Uso de TIC para optimizar los flujos informativos de la cadena de suministro,” Universidad Autónoma de Nuevo León, s.f.
- [22] Sun *et al.*, “Ontología de servicios web para la integración de la cadena de suministro en construcción,” 2024.
- [23] D. Mourtzis, E. Vlachou, and N. Milas, “Integración en tiempo real mediante IoT en proyectos de construcción,” *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 2020.
- [24] Grilo and Jardim-Gonçalves, “Perspectiva integrada de compras electrónicas basadas en BIM en construcción,” *Automation in Construction*, 2011.
- [25] N. S. Reyes *et al.*, “Uso de TIC: BIM, drones, IA en la industria de la construcción,” *Cuadernos de Economía y Dirección de la Empresa*, 2022.
- [26] L. González and C. Valiño, “Aplicación de las TIC en canales de distribución y cadena de suministro,” *Revista ICADE*, 2012.
- [27] Demagistris *et al.*, “Contratos inteligentes basados en blockchain para pagos en construcción,” 2022.
- [28] Liu *et al.*, “Revisión de gemelos digitales basados en blockchain para la cadena de suministro,” 2022.
- [29] Meng *et al.*, “Financiamiento de la cadena de suministro y la industria de TIC: una revisión sistemática,” *SAGE Journals*, 2023.
- [30] G. Allaoui and Sarkis, “Intercambio de información mediante TIC y rendimiento operativo en sistemas de producción compartida,” *Journal of Cleaner Production*, 2019.



Tipo de artículo: Artículos originales  
Temática: Tecnologías de la información y las comunicaciones  
Recibido: 22/10/2024 | Aceptado: 29/11/2024 | Publicado: 30/09/2025

Identificadores persistentes:  
DOI: [10.48168/innosoft.s24.a299](https://doi.org/10.48168/innosoft.s24.a299)  
ARK: [42411/s24.a299](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:org:ark:42411/s24.a299)  
PURL: [ark:/42411/s24.a299](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:org:ark:42411/s24.a299)

# Diseño de una arquitectura de microservicios en contenedores virtuales

## *Design of a microservices architecture in virtual containers*

Samantha Yazmin Elizalde Valencia<sup>1</sup>[\[0009-0001-8412-3176\]\\*, José Juan Hernández Mora<sup>2</sup>\[\\[0000-0003-2878-7290\\]\]\(https://orcid.org/0000-0003-2878-7290\), María Guadalupe Medina Barrera<sup>3</sup>\[\\[0000-0003-3074-0029\\]\]\(https://orcid.org/0000-0003-3074-0029\), Juan Ramos Ramos<sup>4</sup>\[\\[0009-0004-7440-7257\\]\]\(https://orcid.org/0009-0004-7440-7257\)](https://orcid.org/0009-0001-8412-3176)

<sup>1</sup>Instituto Tecnológico de Apizaco. Dirección postal. [m23370041@apizaco.tecnm.mx](mailto:m23370041@apizaco.tecnm.mx)

<sup>2</sup>Instituto Tecnológico de Apizaco. Dirección postal. [juan.hm@apizaco.tecnm.com](mailto:juan.hm@apizaco.tecnm.com)

<sup>3</sup>Instituto Tecnológico de Apizaco. Dirección postal. [guadalupe.mb@apizaco.tecnm.com](mailto:guadalupe.mb@apizaco.tecnm.com)

<sup>4</sup>Instituto Tecnológico de Apizaco. Dirección postal. [juan.rr@apizaco.tecnm.com](mailto:juan.rr@apizaco.tecnm.com)

\*Autor para correspondencia: [m23370041@apizaco.tecnm.mx](mailto:m23370041@apizaco.tecnm.mx)

---

### Resumen

En este artículo se presenta la propuesta metodológica para el diseño e implementación de una arquitectura de microservicios en contenedores. La propuesta abarca desde las metodologías utilizadas para la fase de investigación de las primeras fases de desarrollo del proyecto hasta la parte de la metodología utilizada para la creación de un sistema informático de prueba. Se propone una arquitectura basada en arquitecturas de dominio, así como también se expone el diseño de la arquitectura física del sistema, basado en los requerimientos expuestos por la institución colaboradora para el caso de prueba. Como parte de los resultados, se describe la configuración de los microservicios y contenedores, así como su integración en una red común de servicios en ejecución.

**Palabras claves:** Arquitectura, Contenerización, Docker, Microservicios

### Abstract

*This article presents the methodological proposal for the design and implementation of a containerized microservices architecture. The proposal covers the methodologies used for the research phase of the initial stages of project development, as well as the methodology used to create a test computing system. An architecture based on domain architectures is proposed, as well as the design of the system's physical architecture, based on the requirements presented by the collaborating institution for the test case. The results describe the configuration of the microservices and containers, as well as their integration into a common network of running services.*

**Keywords:** Architecture, Containerization, Docker, Microservices

---

## Introducción

En la actualidad, incontables organizaciones siguen atrapadas con software construido sobre bases obsoletas y poco robustas, la magnitud de este problema es bastante amplia pues resulta que aproximadamente el 65 % de aplicaciones empresariales son sistemas legacy. Lo más frustrante es ver cómo estas organizaciones desperdician entre el 60 % y 80 % de sus presupuestos de TI simplemente manteniendo estos sistemas totalmente obsoletos, en lugar de invertir en innovaciones que realmente podrían transformar sus negocios [1].

Estos sistemas legacy funcionan, pero con muchas dificultades, creados a partir de arquitecturas monolíticas difícil de sobre llevar, documentación pobre o inexistente, y dependencia de tecnologías que muchas veces ya se encuentran obsoletas y el intentar integrar con plataformas modernas resulta una tarea aun mas compleja [2].

Las arquitecturas de microservicios emergen en este panorama como una alternativa alentadora. Estudios sugieren que implementar microservicios en contenedores puede mejorar el rendimiento hasta en un 15 %, gracias a que cada componente ocupa su propio espacio y se despliega casi instantáneamente [3]. Este artículo muestra las metodologías propuestas para diseñar arquitecturas basadas en microservicios usando contenedores Docker.

## Metodologías propuestas para el desarrollo del proyecto

En esta sección se presentan las metodologías sugeridas para el desarrollo del proyecto, desde la parte del estudio y análisis de la información, hasta la parte donde detalla el proceso de como se genera el desarrollo del sistema de software.

### Metodología de investigación

Después de analizar algunas de las metodologías de investigación se opto por dos enfoques que cumplieran con ciertas características importantes para llevar a cabo el proyecto: la investigación tecnológica y la investigación tecnológica en ingeniería. Estas metodologías resultan adecuadas para proyectos donde el objetivo principal no es establecer nuevas teorías sino la de reconstruir procesos mediante la adaptación y mejora de soluciones existentes.

La investigación tecnológica permitira el examinar soluciones existentes, tomar sus mejores elementos y adaptarlos a las necesidades del proyecto [4]. La investigación tecnológica en ingeniería añade un componente de suma importancia: el proyecto de intervención [5]. Como se puede ver en la figura 1, este componente va más allá del análisis teórico, requiriendo la implementación de una solución que pueda ser evaluada. En este caso, esto se traduce en el desarrollo de un sistema funcional en base a la arquitectura propuesta. Esto permitirá

verificar si se cumple con los requisitos planteados en la pregunta de investigación. Además, incorpora un proceso iterativo que permite retroalimentación constante durante las diferentes etapas del proyecto.



Figura 1. Metodología de investigación

A continuación, se proponen las siguientes etapas para realizar la investigación:

1. **Identificación del problema:** Esta etapa se centra en identificar y formular el problema a investigar, en esta parte es donde se establecen los objetivos específicos y se encarga de delimitar el alcance de la investigación.
2. **Revisión bibliográfica:** Realizar una revisión de la literatura vinculada con el tema de investigación, identificando antecedentes y metodologías utilizadas en otros trabajos de investigación.

3. **Análisis de la información:** En esta fase se elaboran algunas soluciones al problema o se plantean nuevas dudas sobre el tema, utilizando la información recopilada en la fase anterior.
4. **Elaboración del proyecto de intervención:** En esta parte se lleva a cabo el desarrollo e implementación del sistema utilizando una metodología de desarrollo de software.
5. **Validación y verificación:** Esta etapa se realiza mediante la aplicación de casos de prueba.
6. **Resultados:** Interpretar los resultados obtenidos en base a los objetivos de la investigación, así como señalando posibles áreas de mejora.
7. **Conclusiones:** Elaborar conclusiones fundamentadas en los hallazgos obtenidos, además de sugerir recomendaciones para futuras investigaciones.

## Metodología de desarrollo del sistema informático

Para la gestión del proyecto, se propone una metodología ágil que fusiona elementos de Scrum y Kanban. Como se muestra en la figura 2, Scrum proporciona la estructura necesaria esto a base de sprints con entregables y revisiones periódicas que permiten ajustar el rumbo del proyecto [6]. Kanban proporciona un esquema visual a través de sus tableros lo que permite mejorar la planificación de los sprints [7].

Dado que el equipo de desarrollo está conformado por un grupo reducido (tres integrantes), se implementa la variante Small-Scale Scrum [8], adecuada por promover la auto organización, la comunicación constante y responsabilidades compartidas en equipos compactos. Esta combinación metodológica permite tener una mejor planificación de las iteraciones con retroalimentación continua. La metodología se segmentará en Sprints con el objetivo de mantener un ritmo de entregas progresivas y adaptarse a las demandas del cliente.

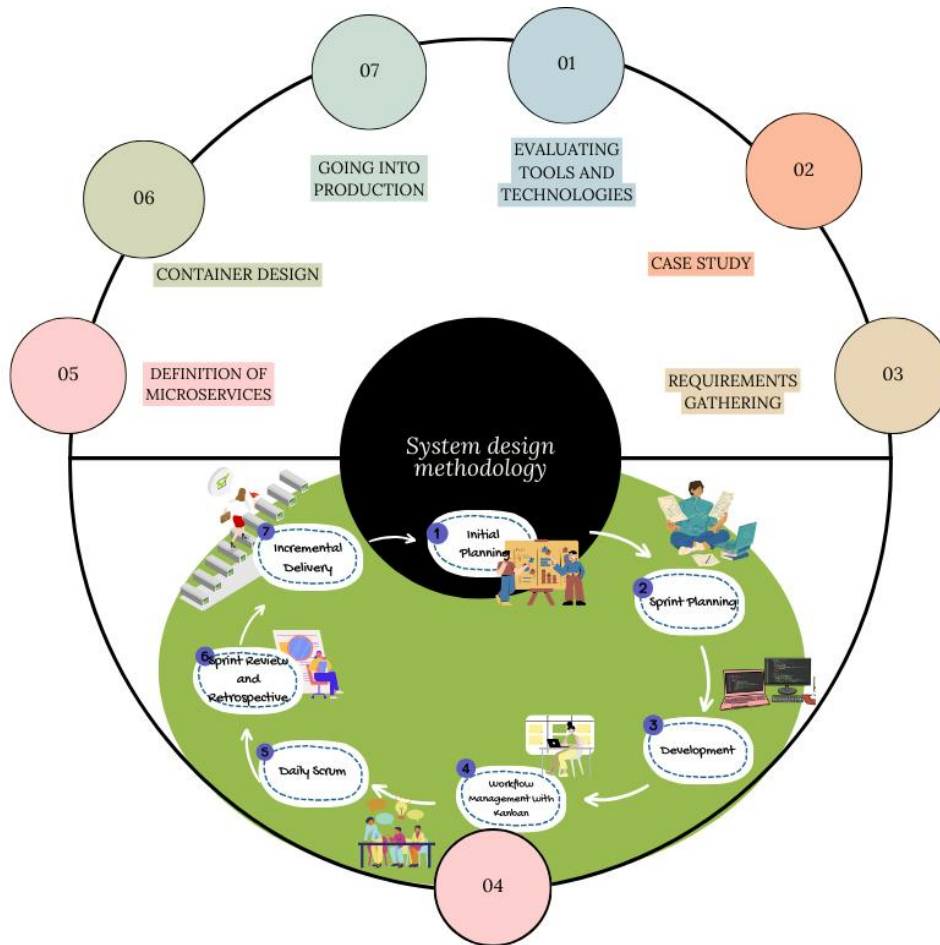


Figura 2. Metodología de desarrollo del sistema

1. **Evaluación de herramientas y tecnologías:** Comparar herramientas de contenedores y APIs.
2. **Estudio de casos:** Realizar el análisis de casos de estudio con atributos parecidos para identificar prácticas sugeridas y retos.
3. **Recolección de requisitos:** En esta etapa, se llevarán a cabo entrevistas con interesados para identificar las necesidades del sistema.
4. **Planificación de sprints:**
  - **Planificación Inicial.** En la siguiente etapa se busca establecer el ámbito general del proyecto, los objetivos, los roles y el backlog inicial.

- **Planificación de Sprint.** Se organiza el trabajo que se llevará a cabo durante el sprint.
  - **Gestión del Flujo de Trabajo utilizando Kanban.** En esta etapa se garantiza un flujo constante de trabajo y eliminar cuellos de botella.
  - **Daily Scrum.** El propósito de esta etapa es supervisar el avance y solucionar bloqueos de forma rápida.
  - **Revisión y Retrospectiva de Sprint.** Se muestra al Product Owner el avance funcional y se recibe retroalimentación.
  - **Entrega Incremental.** Al concluir cada sprint, entregar versiones del producto.
  - **Repetición del Ciclo.** Explorar e incorporar mejoras o nuevas características a través de iteraciones continuas.
5. **Definición de microservicios.** En este segmento se seleccionarán los microservicios que se desempeñarán en el sistema.
  6. **Diseño de Contenedores:** Elaborar la estructura que incorporarán cada contenedor.
  7. **Puesta en marcha en producción:** Implementar la arquitectura en el entorno de producción.

## Arquitectura del sistema

Esta sección expone el diseño arquitectónico sugerido para el sistema, detallando tanto su estructura lógica en capas como su implementación física. La arquitectura establece la estructura modular del sistema, detallando las distintas capas funcionales y sus interrelaciones, mientras que la arquitectura física ilustra la disposición precisa de los elementos de infraestructura, ajustada específicamente a las necesidades técnicas y operativas de la institución colaboradora.

### Arquitectura del sistema

La arquitectura de software mostrada se basa en principios de diseño orientado al dominio, fusionados con una perspectiva de microservicios (ver figura 3). El eje de esta perspectiva se basa en un entendimiento detallado del ámbito empresarial, lo que demanda una colaboración cercana entre desarrolladores y expertos del área [9]. Esta estructura diferencia la lógica central (núcleo) de los componentes tecnológicos por medio de capas, mientras incorpora microservicios para elementos funcionales específicos. Lo que permite simplificar significativamente el mantenimiento y la evolución del sistema [10]. Esta arquitectura proporciona un entorno de trabajo flexible, escalable y modular, creado específicamente para respaldar la evolución constante de sistemas complejos y su

posible traslado a ambientes cloud. La solución implementa una estructura por capas independientes que aísla las reglas de negocio centrales de las dependencias externas (frameworks, bases de datos e interfaces) [11].

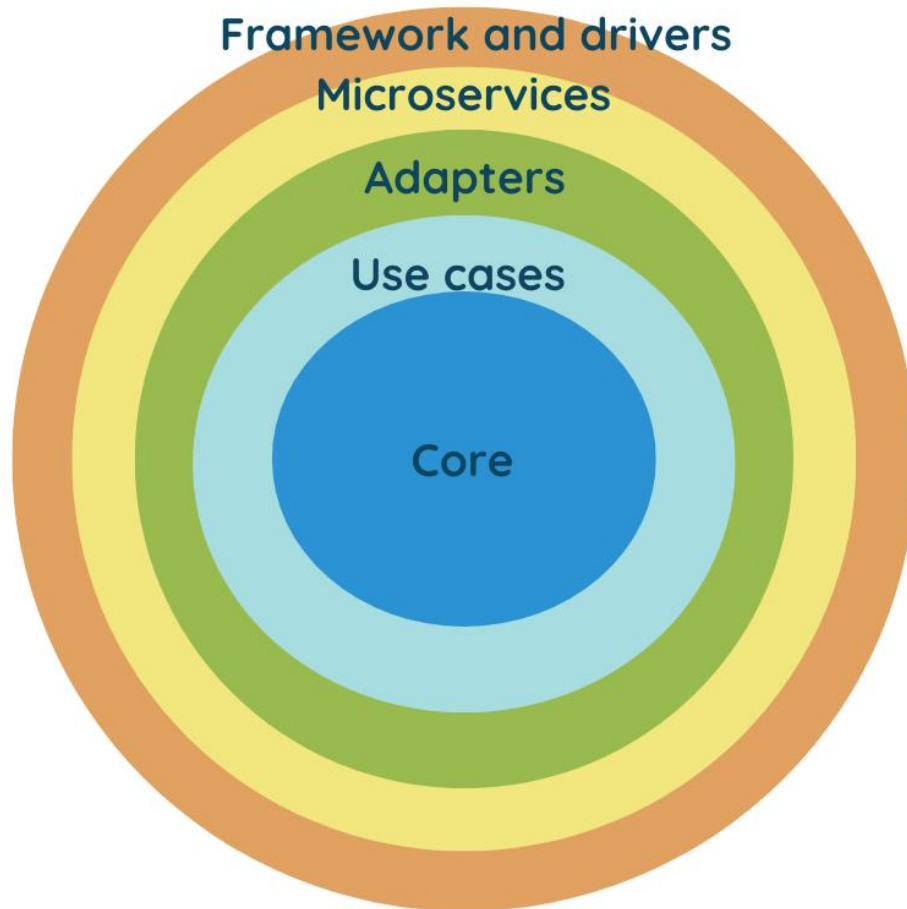


Figura 3. Metodología de desarrollo del sistema

- **Núcleo (Lógica de negocio):** El núcleo alberga las entidades y el pensamiento empresarial, basándose en el principio de la arquitectura de cebolla y limpia. Esto garantiza que la lógica empresarial esté separada y sea autónoma de la infraestructura.
- **Casos de uso:** Implementan casos de uso específicos y se comunican con el núcleo a través de interfaces. Esto está inspirado en la arquitectura hexagonal, en la que los servicios funcionan como mediadores.
- **Adaptadores (Interfaces):** Los puertos y adaptadores enlazan el núcleo y los servicios con sistemas

externos como bases de datos, APIs externas, entre otros. Esto garantiza que el núcleo se mantenga autónomo respecto a los detalles de implementación de la infraestructura.

- **Microservicios:** Cada característica del sistema se pone en marcha como un microservicio autónomo, desplegado en contenedores. Esto permite la escalabilidad y el despliegue constante, conforme a las prácticas óptimas de la arquitectura de microservicios.
- **Marcos y conductores:** Considerando la arquitectura limpia, esta capa está situada en el exterior, donde puede provocar un daño mínimo. Suele incluir marcos y herramientas como la base de datos y el marco web.

## Vista física del Sistema

Para probar la metodología propuesta se desarrollara el sistema de gestión deportiva del Instituto del Deporte del Estado de Tlaxcala (IDET). El IDET, es una institución cuyo objetivo estratégico es transformar el deporte local mediante cuatro ejes principales: masificación, deporte social, deporte popular y deporte escolar [12].

Mediante el cual se identificaron tanto los requisitos funcionales como no funcionales orientados a: gestión de citas médicas deportivas, administración de historiales clínicos de atletas, generación de reportes estadísticos y de monitoreo, control completo del ciclo de consultas médicas. Este análisis posibilitó la creación de los siguientes artefactos esenciales: diagramas de casos de uso, casos de abuso, diagrama de clases para entidades médicas-deportivas, flujos de procesos clínicos y administrativos, especificaciones de comportamiento para módulos clave.

Los hallazgos de este estudio establecieron la base del diseño físico del sistema como se exhibe en la figura 4, garantizando que la arquitectura sugerida cumpla con las necesidades detectadas y los criterios de calidad establecidos.

Dentro de la arquitectura, los usuarios pueden acceder a la aplicación desde navegadores en computadoras, tabletas y teléfonos, estableciendo comunicación mediante solicitudes HTTP. A partir de estas peticiones, el frontend, desarrollado en React ofrece una interfaz visual. React gestiona los estilos del sistema a través de archivos CSS y utiliza JavaScript para mejorar la interactividad y la experiencia del usuario. Cuando un usuario interactúa con la interfaz, el frontend envía una solicitud a Django, que en este caso actúa como middleware a través de Django REST Framework. Este último factúa como un enlace entre la capa visual y los microservicios. En el backend, los modelos de datos juegan un rol crucial, debido a que representan la estructura de la información y su almacenamiento en la base de datos.

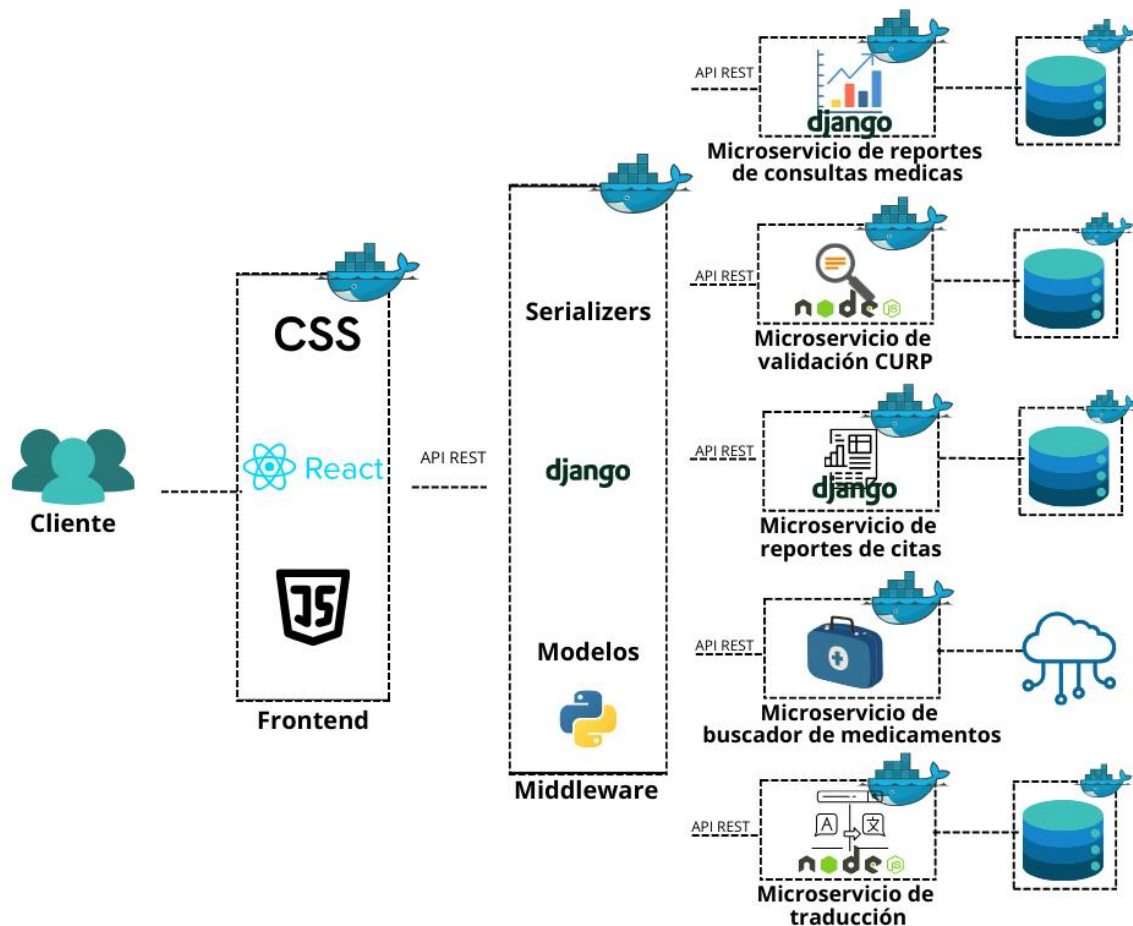


Figura 4. Vista física del sistema

El sistema cuenta con varios microservicios, creados para mejorar y verificar la información en los formularios. El sistema incorpora los siguientes microservicios:

- **Microservicio de Validación de Credenciales:** Validación de CURP de atletas mediante un servicio Node.js alojado en servidor la implementación estará basada en un repositorio Git clonado.
- **Microservicios de Análítica y Reportes:** Generación de diagramas estadísticos, elaboración de reportes personalizados en PDF con parámetros ajustables por el usuario y acceso seguro a la base de datos a través de ORM.
- **Microservicio de buscador de medicamentos:** El cual se pretende integrar a la parte de consultas

médicas, permite realizar la toma de decisiones más acertada para el profesional de la salud, en cuanto a medicamentos se refiere, y proporciona información sobre dosis recomendadas, reacciones adversas y otros datos relevantes. Este es un microservicio que pertenece al Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU., el cual se encuentra en la nube, y se accederá a través de una API. Además, requiere un servicio adicional para su funcionamiento.

- **Microservicio de traducción:** Ya que toda la información del buscador de medicamentos estaba disponible en inglés, se requiere la implementación de un traductor que permita mostrar la información en el idioma adecuado según el contexto de uso; este microservicio pertenece a lingva-translate. El cual permite la traducción tanto para hacer la petición como también para recibir la información, esto mediante un servicio Node.js.

Para asegurar la escalabilidad y portabilidad, cada elemento esencial del sistema está alojado en contenedores Docker, lo que permite su despliegue tanto en servidores locales como en la nube, dependiendo del requisito del cliente. La interacción entre diversos contenedores y microservicios se lleva a cabo mediante las API REST.

## Resultados y discusión

En esta sección se expondrá parte de la implementación del proyecto de intervención. Se mostrará desde la configuración del frontend, backend y microservicios, así como también cómo se configuraron los microservicios dentro de los contenedores y cómo se comunican entre sí.

### Configuración del frontend y backend

El sistema busca trabajar de forma modular, lo cual permite agregar nuevas funcionalidades sin comprometer demasiado el desempeño del sistema; es por esto que se necesita separar las funcionalidades de frontend y backend.

Para trabajar el frontend, se trabajó a través del framework de desarrollo React, alojado en el puerto 5173, el cual realiza todo lo relacionado a la parte visual del sistema. En cuanto al backend, se trabajó en base al framework de desarrollo Django, que permitió realizar toda la parte de los modelos de datos y manejar la parte de la lógica central de la aplicación. Este servicio se ejecuta en el puerto 8000. Para lograr la comunicación de ambas partes, se utilizó con la herramienta Django Rest Framework, que permitió la comunicación convirtiendo los modelos de datos a un formato JSON, esto a través de las vistas y archivos serializadores.

La siguiente figura muestra un ejemplo de la vista `DeportesViewSet`, la cual se trata de una vista basada en

ViewSet de Django REST Framework. La cual incluye las operaciones básicas de API REST.

Dentro de esta vista se define el conjunto de datos (Deporte), que será utilizado por la vista, lo que permite seleccionar todos los registros pertenecientes a dicho modelo. También, al hacer referencia al serializador (DeporteSerializer), indica que los datos del modelo (Deporte) deberán ser convertidos a JSON usando el serializador.

```
class DeporteViewSet(viewsets.ModelViewSet):  
    queryset = Deporte.objects.all()  
    serializer_class = DeporteSerializer
```

Figura 5. Vista basada en ViewSet

Mientras que en la figura 6, se muestra el archivo serializador perteneciente al modelo de datos de Deporte. Esta es la parte encargada de convertir los datos que se envían en formato JSON y también es el encargado de convertir los datos recibidos por la API. Lo cual permite crear, eliminar o actualizar registros. Dentro del serializador se utiliza la clase ModelSerializer, la cual permite la creación de serializadores a partir de un modelo de Django.

```
class DeporteSerializer(serializers.ModelSerializer):  
    class Meta:  
        model = Deporte  
        fields = ['id', 'nombre']
```

Figura 6. Serializer basado en ModelSerializer

Ahora, en la parte del frontend, será necesario configurar una API cliente como se observa en la figura 7, que permita la interacción con el backend. Con base en una URL, permite la conexión con el servidor, lo que ayuda a obtener la información de los deportes. Y por lo tanto tener a las funciones CRUD, pero esta vez desde el frontend.

```
import axios from "axios";

const deportesApi = axios.create({
  |   baseUrl: 'http://localhost:8000/Catalogos/Deportes/'
  | });

// Obtener todos los deportes
export const getAllDeportes = () => deportesApi.get('/');

// Crear nuevo deporte
export const createDeporte = (deporte) => deportesApi.post('/', deporte);

// Obtener un deporte por ID
export const getDeporteById = (id) => deportesApi.get(`/${id}/`);

// Actualizar un deporte
export const updateDeporte = (id, deporte) => deportesApi.put(`/${id}/`, deporte);

// Eliminar un deporte
export const deleteDeporte = (id) => deportesApi.delete(`/${id}/`);
```

Figura 7. API cliente

De esta manera, los datos de los modelos podrán ser gestionados por el backend a través de la API.

## Configuración de los microservicios

En cuanto a los servicios creados por el equipo de desarrollo, la configuración es muy similar, ya que estos dos microservicios de generación de reportes y estadísticas de citas y consultas se encuentran en dos proyectos Django diferentes, alojados en los puertos 8001 y 8002. Para realizar la comunicación, se obtiene la información desde las URLs pertenecientes al microservicio backend (Figura 8). Lo que permite que estos microservicios procesen y filtren los datos relevantes para ser presentados en el frontend, ya sea mediante gráficos o para enriquecer la información contenida en los archivos PDF generados.

```
class EstadisticasCitasView(APIView):  
    def get(self, request):  
        try:  
            # URLs de los servicios  
            API_CITAS = 'http://backend:8000/Modulos/Citas/'  
            API_PROFESIONALES = 'http://backend:8000/Catalogos/Profesionales-Salud/'  
            API_ATLETAS = 'http://backend:8000/Catalogos/Atletas/'  
            API_AREAS = 'http://backend:8000/Catalogos/Areas/'  
  
            # 1. Obtener todas las citas  
            logger.info(f"Consultando citas en: {API_CITAS}")  
            citas_response = requests.get(API_CITAS, timeout=10)  
            citas_response.raise_for_status()  
            todas_citas = citas_response.json()  
  
            # 2. Filtrar citas del mes actual  
            mes_actual = datetime.now().month  
            año_actual = datetime.now().year
```

Figura 8. Vista de filtrado de microservicio de estadísticas

Los microservicios clonados de repositorios git corresponden al servicio de traducción y de validación de CURP, están desarrollados en Node.js y se encuentran alojados en los puertos 3000 y 3001. Para su ejecución fue necesario instalar los requerimientos especificados en su documentación. El manejo de su información se realiza mediante el consumo de sus respectivas APIs (Figura 9). Las APIs se encargarán de gestionar las peticiones necesarias para lograr la comunicación del frontend con alguno de los dos servicios externos.

```
import axios from "axios";
// Configuración para la API de Node.js
const nodeApi = axios.create({
  baseURL: 'http://localhost:3000',
  timeout: 5000
});
/**
 * Valida una CURP usando el servicio Node.js
 * @param {string} curp - La CURP a validar
 * @returns {Promise<{valid: boolean, data: {sexo: string, fecha_nacimiento: string}|null}>}
 */
export const validateCurp = async (curp) => {
  try {
    const response = await nodeApi.post('/curp/validate', { curp });

    if (!response.data) {
      throw new Error('Respuesta vacía del servidor');
    }

    return {
      valid: response.data.valid,
      data: {
        sexo: response.data.sex === 'Hombre' ? 'H' : 'M',
        fecha_nacimiento: response.data.birthDate
      }
    };
  } catch (error) {
```

Figura 9. API servicio de validación de CURP

En el caso del microservicio externo que se encuentra alojado en la nube, se define una función, la cual consulta la API de FDA para obtener la información de los medicamentos, se realiza la búsqueda de información y devuelve una lista de los objetos procesados.

```
// Función para buscar en OpenFDA
const buscarEnOpenFDA = async (terminoBusqueda) => {

  let url = `https://api.fda.gov/drug/label.json?search=openfda.brand_name:${encodeURIComponent(terminoBusqueda)}&limit=5`;

  let respuesta = await fetch(url);
  let datos = await respuesta.json();

  if (!datos.results || datos.results.length === 0) {
    url = `https://api.fda.gov/drug/label.json?search=openfda.brand_name:${encodeURIComponent(terminoBusqueda)}&limit=5`;
    respuesta = await fetch(url);
    datos = await respuesta.json();
  }
}
```

Figura 10. Función para acceder a OPEN FDA

## Configuración de contenedores (Docker)

Para contenerizar los microservicios, fue necesario crear un archivo Dockerfile dentro de la carpeta correspondiente de cada uno, el cual permitió crear la imagen de cada microservicio, en el cual se especifica el entorno base sobre el que se construirá la imagen, directorio de trabajo, instalación de dependencias, exposición de dependencias y comando de arranque.

Por otro lado el archivo docker compose permitió administrar los múltiples contenedores donde se asignó una red en la cual se estarán comunicando, esta opción es especialmente útil para aplicaciones que cuentan con múltiples servicios.

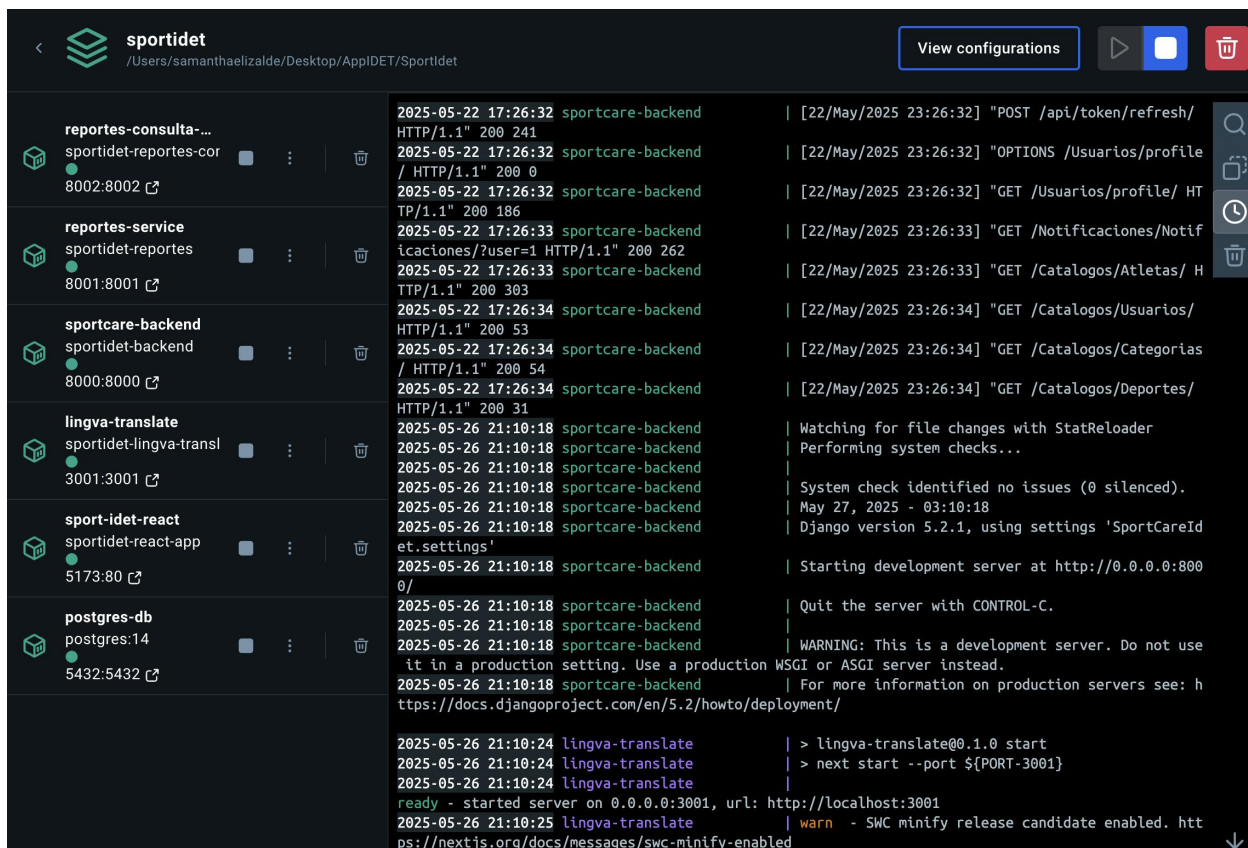


Figura 11. Microservicios en contenedores

## Conclusiones

La propuesta de una arquitectura basada en microservicios en contenedores (Docker) demuestra ser un reemplazo para los sistemas legacy, ofreciendo escalabilidad, modularidad y portabilidad. Este artículo presentó la metodología que abarca desde el análisis hasta la producción, validando la arquitectura mediante un caso de estudio real en el Instituto del Deporte del Estado de Tlaxcala (IDET). Dentro de lo cual se pudo observar que, gracias a la contenerización, se simplifica el despliegue y gestión de microservicios, reduciendo conflictos de dependencias.

Mientras que la combinación de Django (backend) y React (frontend) permite una separación de responsabilidades, mientras que el usar Django REST Framework permitió facilitar la comunicación con servicios externos.

## Contribución de Autoría

Samantha Yazmin Elizalde Valencia: [Conceptualización](#), [Investigación](#), [Metodología](#), [Software](#), [Validación](#), [Redacción - borrador original](#). José Juan Hernández Mora: [Conceptualización](#), [Investigación](#), [Metodología](#), [Análisis formal](#), [Recursos](#), [Visualización](#), [Supervisión](#), [Administración de proyectos](#), [Curación de datos](#), [Escritura](#), [revisión y edición](#). María Guadalupe Medina Barrera: [Conceptualización](#), [Visualización](#), [Análisis formal](#), [Recursos](#), [Supervisión](#), [Administración de proyectos](#), [Escritura](#), [revisión y edición](#). Juan Ramos Ramos: [Conceptualización](#), [Visualización](#), [Curación de datos](#), [Análisis formal](#), [Recursos](#), [Supervisión](#), [Administración de proyectos](#), [Escritura](#), [revisión y edición](#).

## Referencias

- [1] R. A., “The cost of legacy systems: How outdated it holds companies back,” Mar. 21 2025. [Online]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/cost-legacy-systems-how-outdated-holds-companies-back-andre-occec>
- [2] L. Sánchez, “Sistemas legacy - modernizando la infraestructura tecnológica,” 2024. [Online]. Available: [https://www.initiumsoft.com/blog\\_initium/sistemas-legacy/](https://www.initiumsoft.com/blog_initium/sistemas-legacy/)
- [3] A. F. S. Chiza, “Análisis de rendimiento entre una arquitectura monolítica y una arquitectura de microservicios – tecnología basada en contenedores,” Repositorio Core, Tech. Rep., 2018. [Online]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/200323828.pdf>
- [4] F. Bello, “Reflexión: La investigación tecnológica o cuando la solución es el problema,” *Revista de la Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo*. [Online]. Available: <http://servicio.bc.uc.edu.ve/faces/revista/a6n13/6-13-3.pdf>
- [5] C. D. la Cruz Casaño, *Metodología de la investigación tecnológica en ingeniería*. Universidad Continental, 2016. [Online]. Available: [https://www.academia.edu/94930372/Metodolog%C3%ADa\\_de\\_la\\_investigaci%C3%B3n\\_tecnol%C3%B3gica\\_en\\_ingenier%C3%ADa](https://www.academia.edu/94930372/Metodolog%C3%ADa_de_la_investigaci%C3%B3n_tecnol%C3%B3gica_en_ingenier%C3%ADa)
- [6] M. V. Estrada-Velasco, P. R. Saltos-Chávez, J. A. N. nez Villacis, and W. C. Cunuhay-Cuchipe, “Revisión sistemática de la metodología scrum para el desarrollo de software,” *Revista Científica*, 2021. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8384028>
- [7] A. Castro, “Scrum y kanban: Una combinación efectiva para la gestión ágil,” Enero 13 2025. [Online]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/scrum-y-kanban-una-combinaci%C3%B3n>
- [8] D. Garcia, “Scrum para equipos pequeños, una introducción,” Feb. 19 2019. [Online]. Available: <https://www.inteldig.com/2019/02/scrum-equipos-pequenos/>

- [9] G. E. O. Tibán and L. F. C. Sánchez, “Desarrollo de un prototipo de microservicios con clean architecture,” 2023. [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/28179/1/MSQ862.pdf>
- [10] J. D. L. Hinojosa, “Arquitectura de software basada en microservicios,” 2017. [Online]. Available: <https://1library.co/document/y81dmvwz-arquitectura-software-basada-microservicios-desarrollo-aplicaciones-asamblea-nacional.html>
- [11] R. C. Martin, *Clean Architecture: A Craftsman’s Guide to Software Structure and Design*. Prentice Hall, 2017.
- [12] IDET, “Misión y visión,” Instituto del Deporte de Tlaxcala. [Online]. Available: <https://idet.tlaxcala.gob.mx/index.php/mision-vision>



Tipo de artículo: Artículos originales  
Temática: Ingeniería de software  
Recibido: 20/11/2024 | Aceptado: 22/01/2025 | Publicado: 30/09/2025

Identificadores persistentes:  
DOI: [10.48168/innosoft.s24.a321](https://doi.org/10.48168/innosoft.s24.a321)  
ARK: [ark:/42411/s24.a321](https://nbn-resolving.org/ark:/42411/s24.a321)  
PURL: [42411/s24.a321](https://purl.org/42411/s24.a321)

# Automatización inteligente para procesos correctos: n8n como motor de eficiencia digital

## *Intelligent automation for successful processes: n8n as a driver of digital efficiency*

Mario S. Moreno<sup>1</sup>\*

<sup>1</sup>Universidad del CEMA. Buenos Aires, Argentina. C1054AAP. [msm09@ucema.edu.ar](mailto:msm09@ucema.edu.ar)

\*Autor para correspondencia: [msm09@ucema.edu.ar](mailto:msm09@ucema.edu.ar)

---

### Resumen

En un contexto donde los sistemas digitales se vuelven cada vez más fragmentados, la integración y automatización de procesos ya no son un lujo técnico, sino una necesidad estructural para escalar, proteger datos y mejorar la experiencia del usuario final. Este trabajo analiza el potencial estratégico de n8n, una plataforma de automatización e integración open source que combina lo mejor del enfoque low-code con la extensibilidad del desarrollo tradicional. A través de una comparación técnica y funcional con otras herramientas líderes del mercado como Zapier y Make, se argumenta por qué n8n, especialmente en su versión Community Edition, representa una solución ideal para empresas de desarrollo de software que buscan flexibilidad, control sobre sus flujos y soberanía tecnológica. Además, se exploran sus capacidades de integración con APIs, su arquitectura modular, su soporte nativo para IA, y se presentan casos reales de aplicación en flujos como onboarding automatizado, ETL, testing continuo y soporte omnicanal. Finalmente, se discute la relevancia de adoptar una visión colaborativa entre automatización y desarrollo, superando el falso dilema entre “low-code vs high code”, y proponiendo una sinergia que potencie productos digitales seguros, escalables y sostenibles.

**Palabras claves:** automatización, n8n, integración, open source, IA.

### Abstract

*In a context where digital systems are becoming increasingly fragmented, process integration and automation are no longer a technical luxury, but a structural necessity for scaling, protecting data, and improving the end-user experience. This paper analyzes the strategic potential of n8n, an open-source automation and integration platform that combines the best of a low-code approach with the extensibility of traditional development. Through a technical and functional comparison with other market-leading tools such as Zapier and Make, it argues why n8n, especially its Community Edition, represents an ideal solution for software development companies seeking flexibility, control over their workflows, and technological sovereignty. It also explores its API integration capabilities, its modular architecture, and its native support for AI. It also presents real-world application cases in workflows such as automated onboarding, ETL, continuous testing, and omnichannel support. Finally, the importance of adopting a collaborative approach between automation and development is discussed, overcoming the false dilemma between “low-code vs. high-code.” and proposing a synergy that fosters secure, scalable, and sustainable digital products.*

**Keywords:** automation, n8n, integration, open source, AI.

## Introducción

La creciente complejidad del ecosistema digital, sumado al aumento en la diversidad de plataformas, aplicaciones y fuentes de datos, ha colocado a la automatización y a la integración de sistemas como prioridades estratégicas en las organizaciones modernas. Esta necesidad se ve amplificada por la aceleración de los procesos de digitalización, el auge de servicios en la nube y el protagonismo de la inteligencia artificial en la toma de decisiones operativas. Sin embargo, en la práctica, muchas empresas enfrentan desafíos significativos a la hora de integrar soluciones heterogéneas, lidiando con arquitecturas fragmentadas, múltiples lenguajes de programación y limitaciones de interoperabilidad. Esta situación se agrava cuando se intenta automatizar procesos sin una plataforma unificada ni una estrategia clara de gobierno de datos. En este escenario, además, surgen temores frecuentes relacionados con la automatización, principalmente el de una supuesta sustitución masiva de empleos humanos, lo cual ha sido identificado como un mito parcial [1, 2].

Este trabajo tiene como objetivo analizar por qué n8n, una plataforma de automatización de código abierto, representa una opción estratégica para empresas que buscan integrar y automatizar procesos sin depender exclusivamente de soluciones comerciales con licencia. En particular, se examina el valor diferencial de su versión Community, una edición gratuita y autoalojable del software bajo licencia Fair-Code, que permite su uso sin costo comercial directo, pero con ciertas restricciones para empresas proveedoras de servicios, frente a otras plataformas populares como Zapier y Make [3–5]. De esta forma, se argumenta que la adopción de soluciones open source no solo permite reducir costos, sino que ofrece mayor control, personalización y privacidad en contextos donde el manejo de datos sensibles es crítico, como sucede en entornos financieros o gubernamentales. A lo largo del artículo se mostrarán casos de aplicación, comparativas técnicas, análisis de arquitectura y escenarios de integración con inteligencia artificial, con el objetivo de demostrar que n8n no compite con el desarrollo de software tradicional, sino que lo complementa y potencia. Así, la automatización se presenta no como una amenaza, sino como una aliada estratégica para escalar, innovar y garantizar la interoperabilidad en la era del software inteligente.

## Marco Teórico

Uno de los antecedentes documentados más tempranos en la historia de la automatización de datos es el desarrollo de la máquina tabuladora por parte de Herman Hollerith en 1889. Este dispositivo electromecánico, basado en tarjetas perforadas, permitió automatizar el procesamiento del Censo de los Estados Unidos de 1890, reduciendo el tiempo estimado de análisis de diez años a apenas seis semanas [6]. Este avance fue

decisivo para la historia de la informática, al punto de que la empresa fundada por Hollerith, la Tabulating Machine Company, sería una de las precursoras de IBM.

Décadas más tarde, el avance computacional dio lugar a transformaciones aún más radicales. La progresiva incorporación de tecnologías digitales a los procesos organizacionales fue analizada por Brynjolfsson y McAfee [7], quienes identifican una “segunda era de las máquinas”, marcada por el aumento exponencial de la capacidad computacional, la conectividad global y la automatización del conocimiento. Este proceso tuvo efectos estructurales sobre el empleo, la productividad y los modelos de negocio. Este nuevo escenario exigía que las empresas conectaran sus sistemas y optimizaran sus flujos de información.

En el plano técnico, Linthicum [8] describe cómo, desde la década de 1990, las organizaciones comenzaron a implementar arquitecturas de integración (Enterprise Application Integration, EAI) para conectar aplicaciones dispares y eliminar silos de información. Estas iniciativas dieron paso, años más tarde, a plataformas orientadas a la automatización visual de procesos mediante interfaces low-code o no-code, entendidas como paradigmas de desarrollo de software que permiten crear aplicaciones con mínima codificación manual, mediante interfaces visuales, flujos predefinidos y bloques reutilizables. Este enfoque, orientado tanto a usuarios técnicos como no técnicos, ha sido reconocido por su impacto democratizador en el desarrollo de soluciones empresariales [9,10].

A estas capacidades técnicas se sumaron algoritmos de inteligencia artificial, que dotaron de inteligencia a los procesos automatizados. Russell y Norvig [11] exponen cómo estas técnicas —en particular el aprendizaje automático— han redefinido el concepto de “automatización inteligente”, al permitir que los sistemas aprendan, clasifiquen y tomen decisiones sin intervención humana constante. En este contexto emergen plataformas como n8n, Zapier y Make [3–5], que permiten orquestar flujos de trabajo entre múltiples servicios, conectarse con APIs RESTful (interfaces que permiten la comunicación estructurada entre aplicaciones a través de estándares web), e integrarse con herramientas populares como Gmail, Google Drive, Slack, Microsoft Teams, WhatsApp, Telegram, sistemas CRM y servicios cognitivos como OpenAI, Google Vision o Whisper. Estas soluciones reflejan, como lo plantean Davenport y Ronanki [1], un cambio de paradigma donde la automatización deja de ser una simple eficiencia operativa para convertirse en una capacidad estratégica esencial [12].

En los últimos años, la adopción de tecnologías de automatización e integración ha crecido exponencialmente, impulsada por la transformación digital y el auge del modelo Software-as-a-Service (SaaS), el cual permite utilizar aplicaciones a través de la nube sin necesidad de instalación local ni mantenimiento por parte del usuario final. Según Gartner [9,10], el mercado de plataformas low-code (paradigmas de desarrollo que requieren mínima codificación mediante interfaces visuales) e iPaaS (Integration Platform as a Service, plataformas para conectar aplicaciones y datos en entornos híbridos) ha evolucionado para cubrir necesidades de integración complejas de forma accesible, acelerando los procesos de innovación sin requerir una gran inversión en desarrollo

personalizado.

Plataformas como Zapier y Make [3–5] (antes Integromat) han popularizado los flujos de automatización visuales entre aplicaciones, especialmente en startups, agencias digitales y empresas con alta dependencia de herramientas web. No obstante, estas plataformas presentan limitaciones estructurales para ciertos entornos, como el acceso restringido a funciones avanzadas, la imposibilidad de autoalojamiento (instalación en servidores propios que permita un control completo sobre los datos y procesos), la dependencia de conectores predefinidos y los modelos escalonados de pago por uso.

En paralelo, soluciones como n8n han ganado terreno en sectores donde el control, la privacidad y la personalización son prioritarios. Su enfoque open source, su modelo modular basado en nodos reutilizables y su posibilidad de ejecución local o en servidores propios lo convierten en una opción estratégica para empresas de desarrollo de software. Como plantea Deloitte [13] (2023), el éxito de una estrategia de automatización no depende solo de la herramienta utilizada, sino de su integración responsable con el ecosistema tecnológico existente y de su alineación con los objetivos de la organización. Desde una perspectiva cultural, persiste aún el mito de que la automatización reemplazará automáticamente a los desarrolladores o equipos técnicos. Sin embargo, estudios de McKinsey & Company [2] (2020) demuestran que las herramientas de automatización aumentan la productividad y permiten reasignar recursos humanos a tareas de mayor valor agregado. El caso de plataformas como n8n refuerza esta visión: lejos de competir con el desarrollo tradicional, lo expande con nuevas capacidades de integración rápida, orquestación entre servicios y conexión nativa con APIs (Interfaces de Programación de Aplicaciones), es decir, conjuntos de reglas y definiciones que permiten que dos aplicaciones se comuniquen entre sí de forma estructurada y segura, e inteligencia artificial. En este sentido, comprender cómo herramientas como n8n pueden ser utilizadas como habilitadores de eficiencia y no como mecanismos de reemplazo directo resulta esencial para una implementación responsable y estratégicamente alineada.

## Metodología

En función del recorrido conceptual desarrollado, este trabajo adopta un enfoque comparativo para evaluar las características técnicas y estratégicas de tres plataformas de automatización e integración de aplicaciones: n8n, Zapier y Make (Integromat) [3–5]. La elección de estas herramientas responde a su relevancia en el mercado, sus diferentes modelos de licenciamiento (open source vs. SaaS) y su amplia adopción en entornos de desarrollo de software y procesos empresariales, incluso para fines académicos. La comparación se organiza a partir de los siguientes criterios analíticos, seleccionados por su incidencia directa en la adopción, sostenibilidad y escalabilidad de soluciones de automatización:

1. **Arquitectura y filosofía de diseño:** se evalúa el grado de apertura, extensibilidad y orientación al usuario técnico o no técnico.
2. **Modelo de costos y escalabilidad:** se analiza la estructura de licenciamiento, las tarifas por uso y la posibilidad de crecimiento sin penalización económica.
3. **Control sobre los datos:** se consideran las capacidades de autoalojamiento, privacidad y cumplimiento normativo.
4. **Libertad de integración:** se examina la disponibilidad de conectores, la capacidad de conexión con APIs externas y la flexibilidad para construir integraciones personalizadas.
5. **Soporte para inteligencia artificial:** se observa el grado de integración con servicios de IA y la facilidad para incorporar modelos externos.
6. **Sostenibilidad operativa:** se incluyen aspectos relacionados con la dependencia tecnológica, el lock-in de proveedores y la adaptabilidad a diferentes arquitecturas.

Cada uno de estos ejes se desarrolla dentro del Apartado 1: Comparativa técnica y estratégica de plataformas, donde se analizan en profundidad sus implicancias técnicas y estratégicas. Esta estructura permite una evaluación integral basada en documentación oficial, fuentes secundarias, informes técnicos y ejemplos de aplicación. El objetivo de esta comparación es identificar por qué n8n, especialmente en su versión Community Edition, puede representar una ventaja estratégica para organizaciones que buscan combinar eficiencia técnica, control operativo y autonomía tecnológica.

## Resultados y discusión

### 1. Comparativa Técnica y estrategia de plataformas

A partir del enfoque metodológico definido, se presentan a continuación los resultados del análisis comparativo entre n8n, Zapier y Make [3–5]. Esta evaluación considera aspectos clave para organizaciones que buscan soluciones de automatización flexibles, eficientes y alineadas con principios de soberanía tecnológica. Se abordan los siguientes ejes: arquitectura, modelo de costos, control de datos, escalabilidad y libertad de integración.

#### 1.1 Arquitectura y filosofía de diseño

n8n fue concebido como una plataforma open source, dirigida a usuarios técnicos y organizaciones que requieren flexibilidad, extensibilidad y despliegue en infraestructura propia, lo que permite una instalación self-hosted

(es decir, ejecutada en servidores locales o privados, ofreciendo control completo sobre el entorno de ejecución). A diferencia de Zapier [5], que ofrece una experiencia completamente no-code y cerrada, y de Make [3,4], que si bien cuenta con una interfaz visual potente aún impone límites en cuanto a personalización y entorno, n8n permite: Extensión de funcionalidades mediante nodos personalizados desarrollados en JavaScript, el lenguaje de programación más utilizado para scripting en el desarrollo web y automatización de procesos; Integración con cualquier API RESTful, sin depender de conectores predefinidos; y manipulación lógica avanzada con expresiones y scripting condicional. Este enfoque técnico permite a los equipos de desarrollo una integración más rica y controlada con sus propios servicios o productos.

## 1.2 Modelo de costos y escalabilidad

n8n Community Edition puede ser utilizado de forma gratuita sin costos de licenciamiento, lo que habilita una escalabilidad horizontal sin límites artificiales por cantidad de ejecuciones o nodos. En cambio, Zapier y Make operan bajo modelos comerciales escalonados: Zapier limita la cantidad de Zaps mensuales según el plan contratado, y ciertos tipos de acciones (como filtros avanzados o webhooks) requieren suscripciones superiores [5]; Make impone límites por escenario y consumo de operaciones (operations per month), lo que puede afectar procesos intensivos o flujos en tiempo real [3,4]. Esto convierte a n8n en una opción más viable presupuestariamente para startups, empresas de desarrollo y organizaciones que buscan automatizar procesos internos sin pagar costos crecientes por uso.

## 1.3 Control de datos y seguridad

En sectores donde el tratamiento de información sensible es un requisito, como entidades bancarias, fintechs, salud o gobiernos, la posibilidad de instalar n8n en entornos locales o privados ofrece una ventaja crucial. Este control permite:

- Cumplir con normativas de privacidad como ISO 27001.
- Evitar la exposición de datos operativos a servicios de terceros
- Integrar herramientas de monitoreo y auditoría propios.

Ni Zapier ni Make ofrecen despliegue en infraestructura del cliente, lo que implica delegar la ejecución y el almacenamiento de datos a sus entornos en la nube, con las implicancias que eso conlleva [3-5].

## 1.4 Libertad de integración

Si bien todas las plataformas permiten conexiones con servicios populares como Gmail, Slack, Google Drive, WhatsApp, Telegram o herramientas CRM, n8n se destaca por su libertad total de integración: soporta webhooks (mecanismos que permiten recibir notificaciones en tiempo real desde otros sistemas al producirse un evento), consultas a bases de datos, conexiones SOAP/REST, autenticación personalizada y herramientas de IA como OpenAI, Google Vision o Whisper [12]. Permite construir conectores propios si el servicio deseado no está disponible oficialmente. Admite control de errores, reintentos, lógica condicional compleja y ejecución paralela. Esto le otorga una versatilidad estratégica clave para empresas que necesitan adaptarse a ecosistemas tecnológicos heterogéneos.

Tabla 1. Comparativa técnica entre n8n, Zapier y Make

<b>Criterio</b>	<b>n8n (Community)</b>	<b>Zapier</b>	<b>Make (Integromat)</b>
<b>Modelo</b>	Open-source, self-hosted / Cloud	SaaS cerrado	SaaS cerrado
<b>Licencia base</b>	Gratuita (MIT)	Freemium / pago por uso	Freemium / pago por uso
<b>Flexibilidad</b>	Alta (low-code + scripting)	Baja (no-code cerrado)	Media (interfaz visual avanzada)
<b>Integraciones</b>	APIs personalizadas + conectores nativos	Solo conectores disponibles	APIs y conectores visuales
<b>Escalabilidad</b>	Total (sin costo adicional)	Limitada por plan	Limitada por plan
<b>Control de datos</b>	Total (on-premise/cloud privada)	Nulo (cloud third-party)	Parcial (en entorno Make)
<b>Soporte IA</b>	Nodos IA propios + APIs externas	Integración limitada	Soporte parcial

## 1.5 Soporte para inteligencia artificial

Uno de los factores que distingue a n8n frente a otras plataformas de automatización es su capacidad de integración nativa con servicios de inteligencia artificial (IA), lo que habilita flujos avanzados sin necesidad

de infraestructura especializada. A través de nodos específicos, como los de OpenAI, HuggingFace, Whisper o Stability AI, n8n permite incorporar funcionalidades de generación de lenguaje natural, análisis semántico, transcripción de audio, visión por computadora y clasificación de contenido. Además, ofrece la posibilidad de integrar modelos personalizados mediante nodos HTTP, facilitando escenarios de inferencia desde APIs internas o servicios cloud. Esta flexibilidad convierte a n8n en una herramienta ideal para construir flujos inteligentes, capaces de interpretar contexto, tomar decisiones automatizadas y adaptarse a condiciones dinámicas del entorno [12, 14].

## 1.6 Sostenibilidad operativa

La sostenibilidad operativa refiere a la capacidad de una herramienta para mantenerse funcional, eficiente y controlable en el tiempo, considerando tanto sus costos como su independencia tecnológica. En este sentido, n8n presenta ventajas claras frente a soluciones comerciales cerradas: permite autoalojamiento completo, elimina la dependencia de proveedores únicos y ofrece un modelo open source que favorece la evolución colaborativa del software. Además, al evitar el lock-in tecnológico, n8n facilita auditorías, migraciones y personalizaciones profundas. Este enfoque promueve un ecosistema más resiliente, en el cual las decisiones estratégicas no dependen de licencias restrictivas ni de cambios unilaterales de proveedores SaaS. Por lo tanto, la elección de n8n no solo se justifica por su rendimiento actual, sino por su alineación con principios de soberanía tecnológica y continuidad operativa.

## 2. n8n: Arquitectura, funcionamiento y modelo de despliegue

Como se ha evidenciado en el análisis comparativo anterior, n8n ofrece una propuesta robusta para organizaciones que necesitan un alto nivel de personalización, control operativo y capacidad de expansión sin comprometer la soberanía tecnológica. Esta fortaleza se explica no solo por su modelo de licencia y filosofía open-source, sino también por su arquitectura técnica flexible y modular, diseñada para responder a los desafíos actuales de integración, automatización e inteligencia distribuida.

### 2.1 Community vs Cloud: Dos formas de adopción

n8n está disponible en dos modalidades principales: n8n Cloud (versión alojada y mantenida por los desarrolladores del proyecto, accesible como servicio, con soporte técnico incluido y actualizaciones automáticas) pensada para usuarios que priorizan facilidad de uso; y n8n Community Edition (versión completamente gratuita y autoalojada, distribuida bajo licencia MIT). Permite desplegar n8n en servidores propios con total

control del entorno. Esta opción es especialmente ventajosa para empresas que requieren privacidad de los datos, escalabilidad sin costes por ejecución y personalización avanzada. También es posible un modelo híbrido, en el cual algunas organizaciones utilizan la versión Community para flujos críticos y n8n Cloud para entornos de prueba o prototipado ágil.

## 2.2 Arquitectura modular: Triggers, nodos y flujos

El diseño de n8n se basa en una arquitectura modular compuesta por tres unidades funcionales principales:

1. **Triggers (Disparadores):** Son eventos que inician un flujo. Pueden ser programados (cron jobs), externos (webhooks), cambios en bases de datos o entradas desde plataformas como Telegram, Gmail o WhatsApp.
2. **Nodos de acción y transformación:** Ejecutan tareas específicas: enviar correos, consumir APIs, transformar estructuras de datos, ejecutar código JavaScript, registrar logs o escribir en bases de datos. La lógica condicional se configura visualmente mediante estructuras tipo If, Switch y Loop.
3. **Nodos de control y lógica:** Regulan la ejecución del flujo, gestionando tiempos de espera, ejecuciones paralelas, errores, reintentos o cancelaciones.

Esto permite construir procesos asíncronos, concurrentes y tolerantes a fallos, adaptados a entornos de alta demanda. Este enfoque posibilita el diseño de automatizaciones que van desde tareas simples hasta pipelines empresariales complejos, integrando sistemas heterogéneos en minutos.

## 2.3 Extensibilidad e integración con APIs e Inteligencia Artificial

Uno de los diferenciales clave de n8n es su capacidad de interacción con cualquier servicio que exponga una API RESTful. Mediante su nodo HTTP Request, permite: consumir servicios web externos; autenticarse con OAuth2 o API Key; enviar y recibir datos en JSON, XML, texto plano o formularios; e incorporar lógica condicional según respuesta del servicio. Además, n8n ofrece integraciones nativas con herramientas de inteligencia artificial, entre las que se destacan: OpenAI (ChatGPT) para generación de lenguaje natural y análisis de texto [12]; HuggingFace para modelos de clasificación; Stability AI y Cohere para generación de imágenes y predicción de intenciones [14]; Whisper y Google Vision para transcripción de voz a texto y análisis de imágenes. Esto posibilita la construcción de flujos inteligentes, que no solo ejecutan tareas automatizadas,

sino que analizan, interpretan y toman decisiones contextuales. A su vez, los desarrolladores pueden crear nodos personalizados para integraciones internas o propietarias, conectarse a microservicios, bots, ETLs o software legado, y orquestar módulos de productos empresariales desde un panel visual.

## 2.4 Modelo de despliegue y operación

n8n es altamente versátil en su implementación. Puede desplegarse en: servidores locales (Linux o Windows) mediante instalación directa, Docker o binarios; nubes públicas como AWS, Azure, GCP o DigitalOcean; contenedores (Docker, Kubernetes) con infraestructura elástica; y entornos serverless o integraciones con CI/CD para automatizaciones del ciclo de desarrollo. Esta capacidad de adaptarse a diferentes entornos refuerza los principios de interoperabilidad, independencia tecnológica y agilidad operativa.

## 3. Modelo de Costos y licenciamiento

Uno de los factores determinantes al momento de elegir una herramienta de automatización es su modelo de costos y licenciamiento, especialmente cuando se proyecta su uso intensivo y a largo plazo.

### 3.1 Comparación entre n8n (Community y Cloud), Zapier y Make

En este sentido, las plataformas n8n, Zapier y Make [3–5], presentan estrategias comerciales y operativas claramente diferenciadas, que influyen en la escalabilidad, el presupuesto y el control de datos dentro de las organizaciones.

Tabla 3. Modelo de licenciamiento de cada plataforma [3–5]

Plataforma	Licencia	Costos por ejecución	Autoalojamiento	Límite de nodos/APIs	Escalabilidad	Personalización
n8n Community	Open Source (MIT)	No	Sí	No	Alta	Total
n8n Cloud	SaaS Propietario	Sí (flujo)	No	Parcial	Alta	Limitada

*Continúa en la siguiente página*

Tabla 3 – Continuación de la página anterior

Plataforma	Licencia	Costos por ejecución	Autoalojamiento	Límite de nodos/APIs	Escalabilidad	Personalización
Zapier	SaaS Propietario	Sí (Zaps)	No	Sí	Limitada	Nula
Make	SaaS Propietario	Sí (operac.)	No	Parcial	Media	Media

Como se observa, n8n Community destaca por ser la única opción que no impone costos por ejecución ni por cantidad de flujos , lo que la convierte en una solución ideal para empresas en crecimiento, entornos de alta demanda o sistemas que requieren automatización intensiva. Además, la posibilidad de ejecutarse en infraestructura propia garantiza independencia operativa y escalabilidad sin penalizaciones económicas.

### 3.2 Implicancias económicas para startups y software factories

En el caso de startups tecnológicas y empresas de desarrollo de software, el uso de plataformas comerciales como Zapier o Make [3–5] puede resultar rápidamente insostenible al escalar proyectos o administrar múltiples entornos y clientes. Los costos acumulados por operación, sumados a las restricciones de planes, implican una barrera de entrada para flujos complejos o multiusuario. En contraste, n8n Community Edition permite :

1. Implementar automatización sin preocuparse por cuotas de uso.
2. Desplegar múltiples entornos de testing, staging y producción sin licencias adicionales.
3. Adaptar soluciones a medida para clientes sin depender de conectores prediseñados o marketplaces cerrados.

Esto habilita un modelo de negocios más competitivo, flexible y rentable, especialmente útil para software factories que integran n8n como parte de su stack ofrecido a clientes.

### 3.3 Justificación del uso empresarial de n8n Community

Además de sus ventajas económicas, el uso de n8n Community responde a consideraciones estratégicas clave, particularmente en términos de:

1. **Privacidad y confidencialidad de los datos:** al ser autoalojado, n8n no expone información sensible a servicios externos. Esto es fundamental en sectores donde existen restricciones legales o regulatorias, como banca, salud o gobierno.
2. **Personalización y control:** la versión Community puede ser modificada, extendida o integrada con otros servicios internos sin límites de API, nodos o funciones. Esta posibilidad no existe en plataformas comerciales cerradas.
3. **Sustentabilidad operativa:** al evitar costos recurrentes y depender solo de infraestructura propia (o de terceros bajo contrato), se reduce la dependencia económica de proveedores SaaS globales, mitigando riesgos de suba de precios o discontinuidad de servicio.

Por estos motivos, n8n Community se posiciona como una elección estratégica sólida para organizaciones que valoran la autonomía técnica, la eficiencia presupuestaria y la soberanía tecnológica.

### 4. Impacto de la IA en la automatización e integración actual

A medida que las organizaciones adoptan soluciones como n8n por sus ventajas en términos de control, escalabilidad y eficiencia de costos, resulta indispensable analizar el siguiente paso evolutivo en la automatización: la incorporación de inteligencia artificial (IA) como componente activo en los flujos de integración. La convergencia entre automatización e IA representa un salto cualitativo en eficiencia, adaptabilidad y procesamiento contextual, ampliando radicalmente las posibilidades de orquestación inteligente. En plataformas como n8n, este avance se materializa a través de nodos específicos de IA e integraciones con modelos avanzados de lenguaje, visión por computadora y análisis de audio mediante APIs externas.

#### 4.1 Nodos de Inteligencia Artificial en n8n

Actualmente, n8n ofrece una serie de nodos preconfigurados que permiten la integración directa con proveedores de IA. Algunos de los más relevantes incluyen:

1. OpenAI (GPT-3.5 / GPT-4): generación de texto, clasificación semántica, resúmenes automáticos, análisis de sentimientos y más [12].
2. HuggingFace : conexión con modelos de traducción automática, análisis de entidades nombradas, clasificación de contenido y otros modelos NLP.
3. Stability AI : generación de imágenes a partir de texto mediante técnicas de text-to-image (ej., Stable Diffusion) [14].
4. Whisper (OpenAI): transcripción de archivos de audio en múltiples idiomas, útil para atención al cliente y análisis de voz [12].
5. Cohere / DeepInfra / Replicate: acceso a modelos fundacionales y específicos a través de plataformas de inferencia en la nube.
6. Custom HTTP Nodes: permiten la conexión con APIs personalizadas o modelos internos, lo cual habilita escenarios de IA propietaria o ajustada.

Todos estos nodos pueden incorporarse en flujos existentes sin requerir entrenamiento desde cero, facilitando el acceso a capacidades avanzadas de IA sin inversión en infraestructura especializada.

## 4.2 Casos de uso reales: clasificación, extracción y flujos inteligentes

La combinación de automatización + IA habilita escenarios concretos de aplicación empresarial. Algunos ejemplos incluyen:

1. Clasificación automática de correos electrónicos por tipo de solicitud → asignación dinámica a agentes → generación de ticket.
2. Extracción de datos estructurados desde formularios PDF → carga en base de datos → generación de reportes.
3. Análisis de sentimientos en reseñas de productos → dashboards de marketing → alertas si se detectan opiniones negativas.
4. Transcripción de audios de WhatsApp → análisis temático → respuesta automática personalizada.
5. Procesamiento de imágenes o documentos escaneados (OCR) → lectura de montos, vencimientos → automatización de facturación o alertas.

Estos casos pueden encadenarse en flujos complejos donde cada etapa es determinada por la salida de un modelo de IA, y adaptarse dinámicamente según el contexto, sin intervención humana.

### 4.3 Potencial disruptivo de las nuevas IA en procesos integrados

La irrupción de modelos fundacionales como GPT-4, Gemini (Google), Claude (Anthropic) o LLaMA (Meta) ha generado un entorno en el cual las automatizaciones no solo replican reglas, sino que aprenden del contexto, predicen comportamientos y se adaptan a nuevas situaciones sin reprogramación explícita [1]. Además, n8n permite integraciones vía API con herramientas de visión por computadora como Google Vision AI, que extrae texto e identifica elementos en imágenes, y motores de audio como Whisper, que transforma grabaciones en transcripciones editables. Esto permite conectar, por ejemplo:

1. Un buzón de WhatsApp de clientes → transcripción de audios → clasificación automática → registro CRM.
2. Una carpeta de Drive con imágenes de facturas → OCR → análisis de montos y vencimientos → alerta por correo.

Este nuevo paradigma abre la puerta a flujos autoajustables, donde la inteligencia contextual reemplaza tareas repetitivas y guía decisiones operativas en tiempo real.

## Conclusiones

La automatización de procesos y la integración de sistemas ya no son una opción complementaria en el desarrollo de software moderno, sino una necesidad estructural para competir en un ecosistema digital marcado por la eficiencia, la adaptabilidad y la inteligencia contextual. En este escenario, n8n se posiciona como una herramienta estratégica que combina los beneficios del open source con un alto nivel de flexibilidad técnica, bajo costo de adopción y una comunidad activa en constante crecimiento. Integrar n8n en productos y servicios digitales permite a las empresas de software aumentar su propuesta de valor, al ofrecer soluciones que incorporan automatización inteligente sin depender exclusivamente de código propietario ni de licencias restrictivas.

Casos de aplicación habituales incluyen: onboarding automatizado de usuarios o clientes; procesos ETL para sincronización y transformación de datos; testing automatizado para verificación de integridad; marketing multicanal (Mailchimp, WhatsApp, Gmail, redes sociales); y flujos de soporte integrados con CRMs, mensajería

y motores de IA. Desde una perspectiva organizacional, n8n representa una ventaja estructural al brindar control sobre la infraestructura, privacidad en el manejo de datos y una plataforma extensible adaptable a cada necesidad. Su despliegue en modalidad Community Edition permite a startups y software factories evitar el lock-in tecnológico, entendido como la dependencia de un proveedor, tecnología o plataforma que limita la posibilidad de migrar, adaptar o evolucionar un sistema sin incurrir en altos costos económicos, técnicos o contractuales. Este fenómeno constituye una de las principales barreras para la interoperabilidad y la innovación en entornos empresariales [8].

Asimismo, se propone una transformación cultural en los equipos de desarrollo: adoptar herramientas como n8n no implica reemplazar lenguajes o frameworks tradicionales, sino ampliar el repertorio de soluciones técnicas. Automatizar hoy significa evaluar qué tecnología resuelve mejor un problema en términos de eficiencia, seguridad y velocidad, integrando la lógica low-code con el desarrollo tradicional. Por todo lo expuesto, se recomienda a tomadores de decisión, CTOs y responsables de estrategia tecnológica que inviertan en herramientas open source integrables, sustentables y controlables, como n8n, para asegurar una transformación digital alineada con los valores de eficiencia, autonomía y escalabilidad que exige el presente y anticipa el futuro del desarrollo de software.

## Contribución de Autoría

Mario S. Moreno: [Conceptualización](#), [Investigación](#), [Metodología](#), [Software](#), [Validación](#), [Redacción - borrador original](#).

## Referencias

- [1] T. H. Davenport and D. D. D'Augelli, “Artificial intelligence for the real world,” *Harvard Bus. Rev.*, vol. 96, no. 1, pp. 108–116, Jan.–Feb. 2018.
- [2] M. . Company. (2020) The future of work: Reskilling and remote working to recover in the ‘next normal’. [Online]. Available: <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital>
- [3] Make. (2023) What is make? [Online]. Available: <https://www.make.com/en>
- [4] ——. (2023) Subscription options. [Online]. Available: <https://www.make.com/en/pricing>
- [5] Zapier. (2023) How zapier works. [Online]. Available: <https://zapier.com/learn/getting-started-guide>
- [6] E. Black, *IBM and the Holocaust: The Strategic Alliance Between Nazi Germany and America’s Most Powerful Corporation*. New York, NY, USA: Crown Publ. Group, 2001.

- [7] E. Brynjolfsson and A. McAfee, *The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*. New York, NY, USA: W. W. Norton Co., 2014.
- [8] D. S. Linthicum, *Enterprise Application Integration*. Boston, MA, USA: Addison-Wesley, 2000.
- [9] I. Gartner. (2021) Magic quadrant for enterprise low-code application platforms. [Online]. Available: <https://www.gartner.com/en/documents/4007207>
- [10] ——. (2021) Market guide for integration platform as a service (ipaaS). [Online]. Available: <https://www.gartner.com/en/documents/4007207>
- [11] S. Russell and P. Norvig, *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, 4th ed. Hoboken, NJ, USA: Pearson, 2020.
- [12] OpenAI. (2024) Openai api documentation. [Online]. Available: <https://platform.openai.com/docs>
- [13] Deloitte. (2023) Automation with intelligence: Pursuing organization-wide reimagination. Deloitte Insights. [Online]. Available: <https://www2.deloitte.com/global/en/pages/operations/articles/automation-with-intelligence.html>
- [14] S. AI. (2024) Api reference. [Online]. Available: <https://stability.ai>
- [15] n8n.io. (2024) n8n documentation. [Online]. Available: <https://docs.n8n.io>
- [16] ——. (2024) Pricing and deployment models. [Online]. Available: <https://docs.n8n.io>



Tipo de artículo: Artículos originales  
Temática: Inteligencia Artificial  
Recibido: 23/11/2024 | Aceptado: 10/01/2025 | Publicado: 30/09/2025

Identificadores persistentes:  
DOI: [10.48168/innosoft.s24.a311](https://doi.org/10.48168/innosoft.s24.a311)  
ARK: [ark:/42411/s24.a311](https://nbn-resolving.org/ark:/42411/s24.a311)  
PURL: [42411/s24.a311](https://purl.org/42411/s24.a311)

# Aplicación del algoritmo KNN para la predicción de enfermedad celíaca utilizando variables clínicas y serológicas

## *Application of KNN algorithm for predicting celiac disease using clinical and serological variables*

Daniel Lévano Rodríguez<sup>1</sup>[\[0000-0001-5652-0601\]\\*, Flor Elizabeth Cerdán León<sup>2</sup>\[\\[0000-0001-6747-6335\\]\]\(https://orcid.org/0000-0001-6747-6335\), Cesar Rolando Salazar Giraldo<sup>3</sup>\[\\[0009-0002-0685-8035\\]\]\(https://orcid.org/0009-0002-0685-8035\), Jadira Dina Vasquez Castro<sup>4</sup>\[\\[0009-0008-3813-9346\\]\]\(https://orcid.org/0009-0008-3813-9346\), Marita Abigail Carbajal Bazán<sup>5</sup>\[\\[0009-0002-5519-2495\\]\]\(https://orcid.org/0009-0002-5519-2495\), Aldana Camila Zea Mendoza<sup>6</sup>\[\\[0009-0005-9917-8937\\]\]\(https://orcid.org/0009-0005-9917-8937\)](https://orcid.org/0000-0001-5652-0601)

<sup>1</sup>Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur. Lima, Perú. [dlevano@untels.edu.pe](mailto:dlevano@untels.edu.pe)

<sup>2</sup>Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur. Lima, Perú. [fcerdan@untels.edu.pe](mailto:fcerdan@untels.edu.pe)

<sup>3</sup>Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur. Lima, Perú. [2213110208@untels.edu.pe](mailto:2213110208@untels.edu.pe)

<sup>4</sup>Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur. Lima, Perú. [2213100026@untels.edu.pe](mailto:2213100026@untels.edu.pe)

<sup>5</sup>Universidad Peruana Unión. Lima, Perú. [marita.carbajal@upeu.edu.pe](mailto:marita.carbajal@upeu.edu.pe)

<sup>6</sup>Universidad Peruana Unión. Lima, Perú. [aldana.zea@upeu.edu.pe](mailto:aldana.zea@upeu.edu.pe)

\*Autor para correspondencia: [dlevano@untels.edu.pe](mailto:dlevano@untels.edu.pe)

---

### Resumen

La enfermedad celíaca corresponde a una condición autoinmune con una prevalencia cercana al 1% a nivel global, frecuentemente subdiagnosticada debido a la escasa sospecha clínica, lo que incrementa su morbilidad y mortalidad. En este contexto, la aplicación del algoritmo K-Nearest Neighbors (KNN) surgió como un modelo predictivo para contribuir a la detección de esta enfermedad mediante variables clínicas y serológicas. Se diseñó un modelo supervisado con el algoritmo KNN utilizando variables clínicas y serológicas extraídas de una base de datos académica de 2,206 registros. Para balancear las clases, se aplicó la técnica de sobremuestreo sintético (SMOTE). Los datos fueron segmentados para entrenamiento y validación, optimizando el parámetro de clasificación mediante validación cruzada. Además, se desarrolló una plataforma web diseñada para admitir el ingreso, análisis y emisión que permite la carga, procesamiento y generación de reportes médicos con acceso por roles y estimación de probabilidad diagnóstica. Este modelo alcanzó una exactitud del 94%, una precisión del 97% y una sensibilidad del 91%. El algoritmo demostró ser útil para la predicción de la enfermedad celíaca a partir de datos clínicos y serológicos, y su implementación en la web permite su integración práctica en entornos clínicos.

**Palabras claves:** autoinmune, Django, enfermedad, KNN, predicción

### Abstract

*Celiac disease is an autoimmune condition with a global prevalence close to 1%, often underdiagnosed due to low clinical suspicion, which increases both morbidity and mortality. In this context, the application of the K-Nearest Neighbors (KNN) algorithm emerged as a predictive model to support the detection of this disease using clinical and serological variables. A supervised model was developed using the KNN algorithm and clinical and serological data extracted from an academic dataset containing 2,206 records. To address class imbalance,*

*the Synthetic Minority Over-sampling Technique (SMOTE) was applied. The data were split for training and validation, optimizing the classification parameter through cross-validation. In addition, a web platform was developed to support data input, analysis, and output, allowing the uploading, processing, and generation of medical reports with role-based access and diagnostic probability estimation. The model achieved 94 % accuracy, 97 % precision, and 91 % sensitivity. The algorithm proved to be effective for predicting celiac disease based on clinical and serological data, and its web-based implementation enables practical integration in clinical environments.*

**Keywords:** *autoimmune, Django, disease, KNN, prediction*

---

## Introducción

La enfermedad celíaca (EC) es un trastorno autoinmune sistémico con una prevalencia global cercana al 1 % [1]. Se asocia con factores genéticos como HLA-DQ2/DQ8 (antígeno leucocitario humano), dietéticos (gluten presente en trigo y centeno) e inmunológicos (diabetes tipo 1 y tiroiditis autoinmune) [2–6]. Su diagnóstico es complejo debido a la falta de consenso en su definición y a la baja sospecha clínica, lo que conduce a una elevada tasa de casos no diagnosticados (85 %), con aumento de morbilidad y mortalidad [7–9]. Este panorama ha impulsado la implementación de estrategias de tamizaje en poblaciones de riesgo, considerando síntomas digestivos, extradigestivos, antecedentes genéticos, dieta y enfermedades autoinmunes asociadas [7, 10].

La presentación clínica clásica de EC es diarrea crónica, dolor abdominal, abdomen distendido, vómitos, y reducción de peso corporal [7, 11, 12]. En cuanto a las formas atípicas predominan síntomas como anemia ferropénica, baja estatura, infertilidad, retraso puberal, y alteraciones hepáticas [10, 13]. El diagnóstico serológico se prioriza la medición de anticuerpos IgA específicos contra la enzima transglutaminasa (tTG-IgA), por su alta sensibilidad, y anti-endomisio IgA (EMA-IgA), de elevada especificidad (97 %) [14]. En casos con deficiencia de Inmunoglobulina A (IgA), se emplean como alternativas los anticuerpos IgG anti-tTG y anti-DGP (anti-péptidos de gliadina) [15–17].

La EC presenta una mayor prevalencia en Europa y Asia (0,8 %) y una menor en Sudamérica (0,4 %) [15]. Asimismo, la aparente baja prevalencia de esta patología se atribuye, en gran medida, a la subestimación diagnóstica. Esto conlleva un aumento en las tasas de morbilidad y mortalidad [7, 9]. En este contexto, resulta necesario explorar herramientas innovadoras que permitan optimizar la predicción diagnóstica utilizando datos accesibles, clínicos y serológicos. Numerosas investigaciones han explorado la aplicación de aprendizaje automático (AA) en la identificación de EC, destacando el algoritmo KNN (K - vecinos más cercanos) como medio de predicción de EC mediante datos de genes asociados [18]. También, ha sido utilizado en conjuntos de datos con variables clínicas [16].

El aprendizaje automático, que se clasifica en aprendizaje supervisado, no supervisado, semisupervisado y el

aprendizaje por refuerzo, permite que las computadoras adquieran conocimiento a partir de datos e identifiquen patrones para ser utilizados y analizados mediante métodos estadísticos y así dotar a las computadoras de la capacidad de aprender y tomar decisiones de forma autónoma [17]. En este ámbito, el algoritmo KNN, de tipo no paramétrico, se utiliza ampliamente para clasificar variables categóricas, considerando la clase predominante entre los K vecinos más cercanos, utilizando métricas de proximidad como la distancia euclidiana para determinar la similitud, en esto se basa su simplicidad, tolerancia al ruido y capacidad de adaptación a conjuntos de datos complejos [18-21].

El desequilibrio en los conjuntos de datos puede tener un impacto en el rendimiento del algoritmo KNN. [17]. Por lo tanto, se utiliza SMOTE (Técnica de Sobremuestreo Sintético de la Clase Minoritaria). SMOTE crea nuevos datos sintéticos a partir de combinaciones de instancias próximas dentro de la clase minoritaria, favoreciendo la igualdad entre categorías y aumentar la capacidad del modelo para generalizar nuevos datos [19,20]. La implementación de KNN en aplicaciones web puede realizarse con Django, un framework en Python y la API, los cuales facilitan la comunicación entre componentes y permiten ejecutar predicciones en tiempo real, favoreciendo su integración en entornos clínicos [21-23]. Django, que abarca el Localizador Uniforme de Recursos (URL), el Marco de Caché para aplicaciones web, el modelo Modelo-Vista-Plantilla (MVT) de Django y un sistema de almacenamiento que permite gestionar tanto los datos operativos como los modelos estructurados definidos en Django [24]. Una API (Interfaz de Programación de Aplicaciones) es un servicio web que utiliza REST para proporcionar respuestas a las solicitudes del cliente mediante transferencia de representaciones del estado del recurso solicitado, usando el protocolo HTTP y es enviado en formato JSON y HTML [25,26].

Este trabajo tuvo como propósito obtener un rendimiento aceptable en términos de exactitud, precisión y sensibilidad, utilizando el algoritmo KNN para la predicción de la enfermedad celíaca.

## Materiales y métodos

Con base en la metodología CRISP-DM [27] se desarrolló del sistema predictivo como se ilustra en la Figura 1. Esta incluyó la comprensión del problema clínico, el análisis y limpieza del conjunto de datos, el balanceo mediante SMOTE, la construcción del modelo KNN en Python, y su posterior despliegue en una plataforma web usando Django.

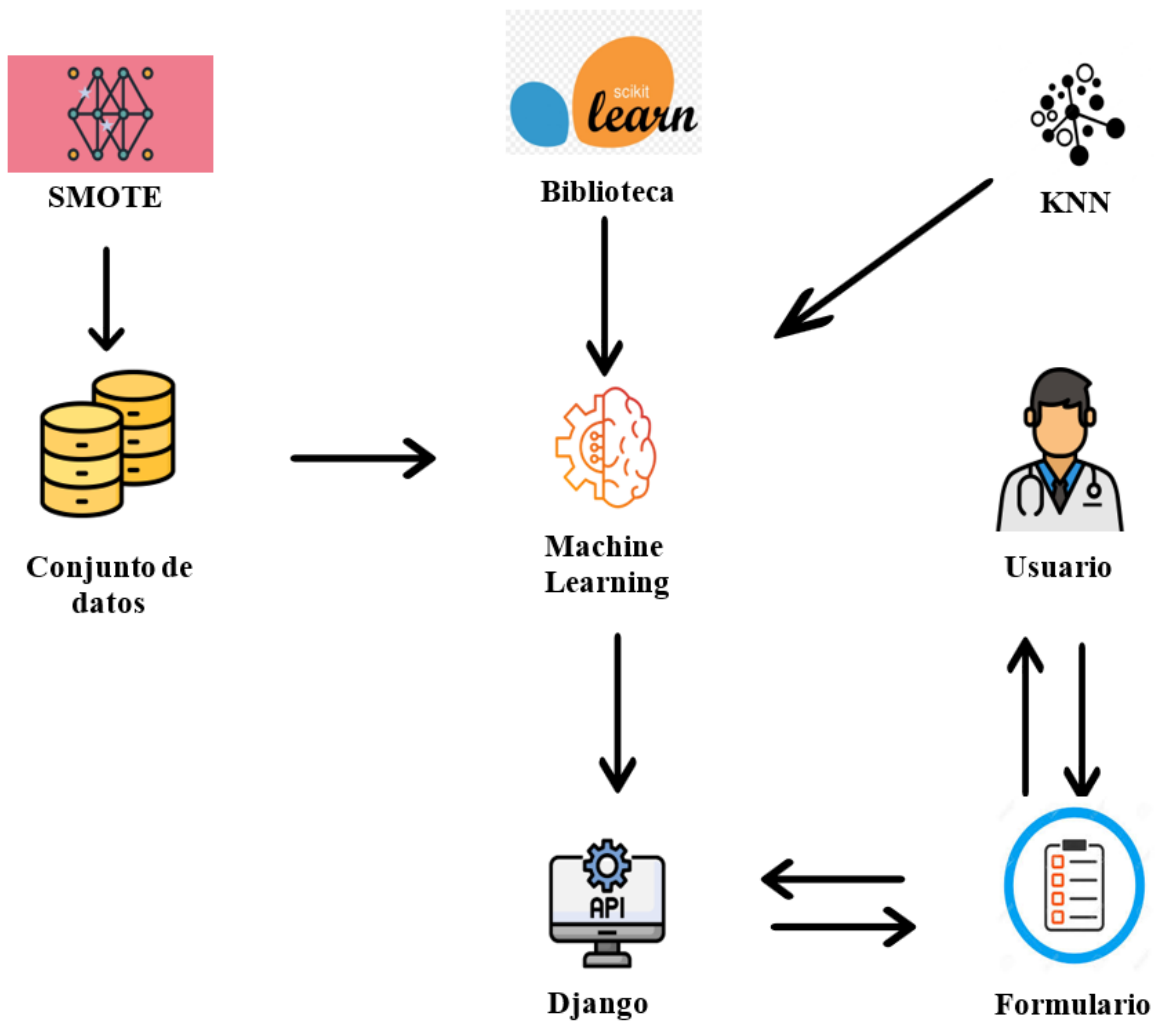


Figura 1. Arquitectura del sistema predictivo con KNN

## Conjunto de datos

El conjunto de datos denominado `celiac_disease_lab_data` fue recopilado por el laboratorio de Biotecnología de la Universidad de Wageningen y se encuentra disponible públicamente a través de la plataforma Kaggle, donde fue seleccionado como fuente de datos para el presente estudio. Este diseño tiene 14 atributos y 2206 instancias con valores numéricos, de ellos 1843 pertenecen a personas con enfermedad celíaca y 363 a personas sin enfermedad celíaca.

## Limpieza de datos

En el conjunto de datos no se hallaron datos vacíos, quedando 2206 registros; sin embargo, se excluyó las variables “Abdomen” y “Short\_Stature” debido a que no se establecieron criterios explícitos para su definición en el conjunto de datos. Las variables “Marsh”, “Cd\_type” se excluyeron por estar directamente relacionadas con el diagnóstico definitivo de la enfermedad, resultando 10 atributos para análisis. El propósito central de este estudio fue analizar clínicos y serológicos con el fin de aplicar el algoritmo KNN en la predicción de enfermedad celíaca.

La Tabla 1 presenta el análisis del conjunto de datos, detallando tanto el tipo de atributo como sus respectivos rangos de valores.

Tabla 1. Información de los atributos del conjunto de datos

ATRIBUTO	TIPO	RANGO DE VALORES
Edad	Discreto	[1,35]
Género	Nominal	Femenino → 1, Masculino → 0
Diabetes	Nominal	Si → 1, No → 0
Tipo de diabetes	Nominal	Tipo 1 → 1, Tipo 2 → 2, Ninguno → 0
Diarrea	Nominal	Esteatorrea → 0, Acuosa → 1, Inflamatorio → 2
Pérdida de peso	Nominal	Si → 1, No → 2
Heces pastosas	Nominal	Si → 1, No → 0
IgA	Continuo	[0.34, 9]
IgG	Continuo	[5,15.3]
IgM	Continuo	[0.5,2.7]

IgA: Inmunoglobulina A, IgG: Inmunoglobulina G, IgM: Inmunoglobulina M

## Balanceo de datos

Se obtuvo una representación con un desequilibrio entre las clases “sí tiene” y “no tiene” con 1843 y 363 instancias respectivamente. Esta desproporción puede afectar negativamente al modelo predictivo; para mitigar esta problemática se decidió implementar la técnica SMOTE únicamente en el sobre el conjunto destinado al entrenamiento del modelo; así se crearon instancias sintéticas para la clase minoritaria basándose en las características de sus vecinos más cercanos, de esta manera se equilibró la clase “no tiene” con la clase “sí tiene” en la Figura 2. Con ello se obtuvo un equilibrio de datos de 1843 instancias para ambas clases.

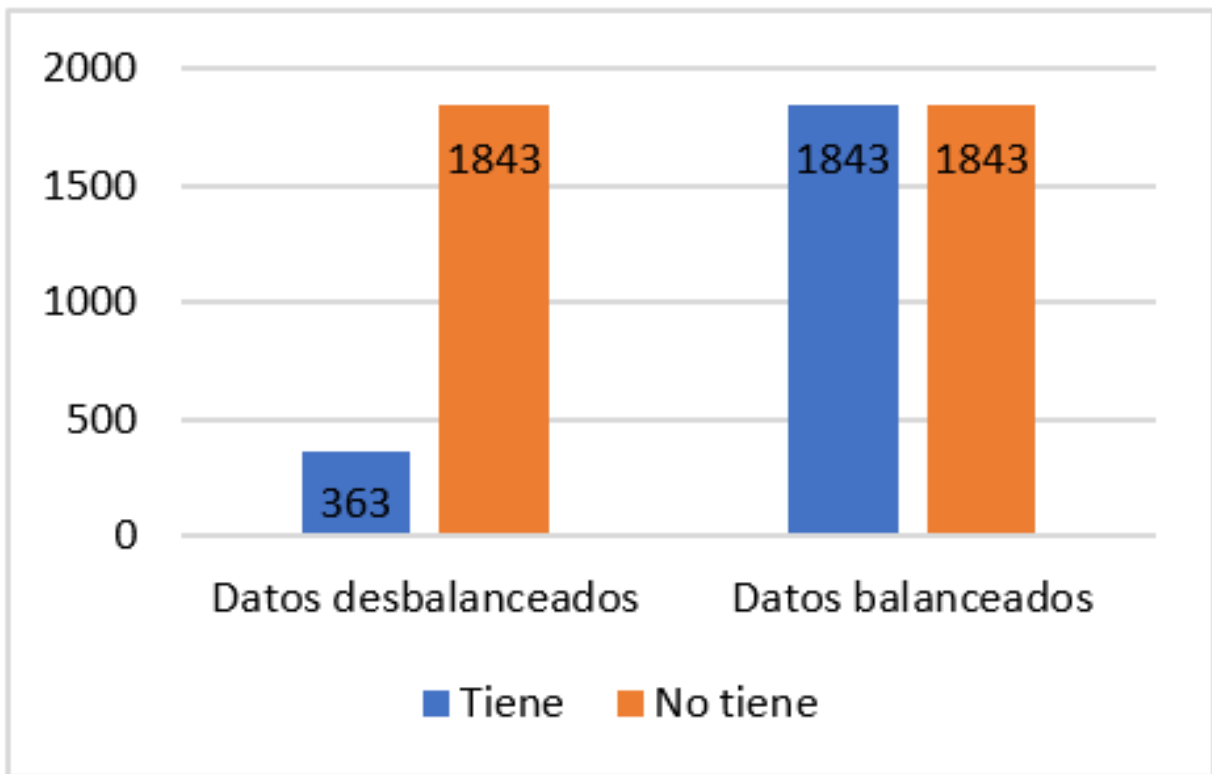


Figura 2. Balanceo de clases mediante la técnica de SMOTE

## Modelado con KNN

Para el modelado predictivo se utilizó el algoritmo de vecinos más cercanos debido a su efectividad en la clasificación de datos clínicos, su facilidad de interpretación y porque no requiere suposiciones rigurosas acerca del comportamiento de las variables [17]. Se empleó la implementación del algoritmo KNN disponible en la biblioteca Scikit-learn de Python durante la etapa de entrenamiento. El conjunto de datos fue cargado en

una estructura tipo marco de datos (dataframe) y posteriormente dividido en dos subconjuntos: dividiéndose en un 70% de los registros para el proceso de entrenamiento y el 30% restante para evaluación, empleando `train_test_split` de Scikit-learn. El valor óptimo del parámetro  $k$  (número de vecinos) se determinó mediante una evaluación sistemática de la tasa de error para valores entre 1 y 25, el cual se presenta en la Figura 3. Para la selección del modelo, se optó por el valor de  $k$  que presentó la menor tasa de error en el conjunto de datos analizados.

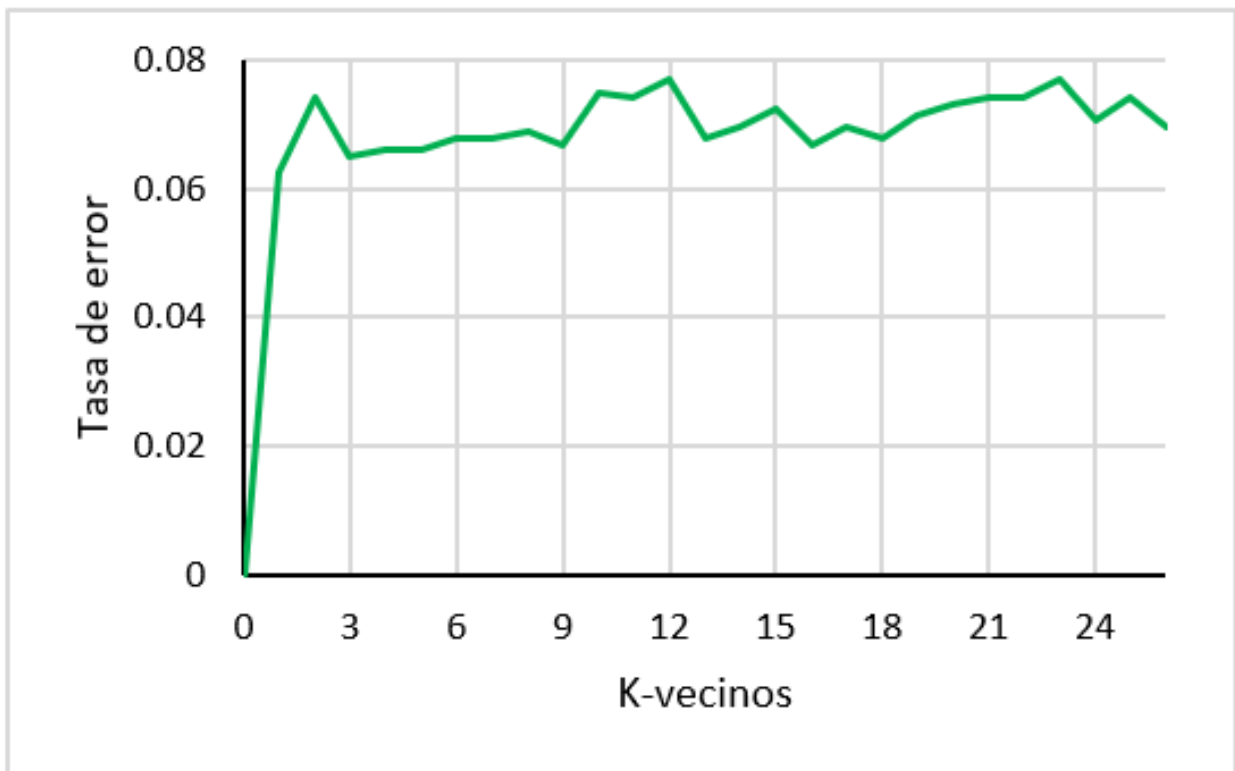


Figura 3. Reporte de tasa de error

Como prueba inicial, el modelo fue entrenado con un valor de  $K$  vecino igual a 2. Los resultados obtenidos para este número de vecinos se presentan en la Tabla 2, la cual resume las principales métricas de desempeño del clasificador.

Tabla 2. Reporte de clasificación

	<b>Precisión</b>	<b>Sensibilidad</b>	<b>Puntaje -F1</b>	<b>Número de casos</b>
<b>Si tiene</b>	0.92	0.93	0.93	569
<b>No tiene</b>	0.93	0.92	0.92	537
<b>Exactitud</b>			0.93	1106

Posteriormente, se evaluó el modelo con K igual a 1, obteniendo los valores obtenidos que se detallan en la Tabla 3, a partir de los cuales se identificó el valor óptimo del parámetro K vecino.

Tabla 3. Reporte de clasificación óptimo

	<b>Precisión</b>	<b>Sensibilidad</b>	<b>Puntaje -F1</b>	<b>Número de casos</b>
<b>Si tiene</b>	0.97	0.91	0.94	569
<b>No tiene</b>	0.91	0.97	0.94	537
<b>Exactitud</b>			0.94	1106

## Despliegue del Sistema

El patrón arquitectónico Modelo–Vista–Template (MTV) pertenece al entorno de desarrollo Django. El modelo predictivo, entrenado previamente con el algoritmo KNN, fue serializado utilizando la biblioteca Joblib y almacenado en el archivo modelo\_entrenado.pkl. Este archivo contiene una versión persistente del modelo que puede ser reutilizada en producción sin necesidad de reentrenar, lo cual permite optimizar el rendimiento y facilita la implementación del modelo en entornos web.

El formulario web (Template prediccion.html) permite al personal médico ingresar variables clínicas y serológicas del paciente. Una vez completado, los datos son enviados mediante una solicitud POST a una vista (views.py), donde se transforman al formato requerido por el modelo. En ese punto, el archivo modelo\_entrenado.pkl se carga dinámicamente en memoria, se ejecuta la predicción con el modelo KNN y se genera un diagnóstico (positivo o negativo para enfermedad celíaca), acompañado de la probabilidad asociada.

El resultado es renderizado en una nueva plantilla HTML (resultado.html), con opciones adicionales como la exportación del informe en PDF y Excel. Esta estructura desacopla el entrenamiento del modelo de su ejecución en tiempo real, optimizando el rendimiento, reduciendo la latencia de respuesta y facilitando su integración en contextos clínicos digitales.

La lógica de predicción está encapsulada en una API interna desarrollada en Django, que gestiona las solicitudes HTTP, estructura las respuestas en formato JSON, y permite la interacción fluida con el frontend. El sistema incluye un esquema de autenticación basado en roles: el perfil “Admin” (dirigido al personal administrativo) tiene acceso a funciones como el registro de pacientes, acceso al formulario, la gestión de usuarios y el historial de predicciones; mientras que el perfil “Usuario” (dirigido a médicos autorizados) puede registrar pacientes y acceder al formulario mostrado en la Figura 4 para realizar las predicciones clínicas correspondientes.

### Formulario de Predicción de Enfermedad Celíaca

Edad:

Género

Masculino  Femenino

¿Tiene diabetes?

No  Sí

¿Presenta antecedente de diabetes?

Ninguno  Tipo 1  Tipo 2

Presentación clínica de diarrea:

Esteatorrea  Acuosa  Inflamatoria

¿Pérdida de peso?

No  Sí

¿Presenta heces pastosas?

No  Sí

Nivel de Inmunoglobulina tipo A (g/L):

Nivel de Inmunoglobulina tipo G (g/L):

Nivel de Inmunoglobulina tipo M (g/L):

Figura 4. Interfaz de formulario

## Resultados y discusión

Se construyó la matriz correspondiente, cuyos resultados se encuentran en la Tabla 4. Esta permite evaluar la eficacia del modelo en la clasificación de pacientes con diagnóstico positivo y negativo de enfermedad celiaca, a partir del análisis de variables clínicas y serológicas. En dicha matriz se observa que el modelo identificó a 517 pacientes con enfermedad celíaca (Verdaderos positivos) y a 520 pacientes sanos (Verdaderos negativos). Sin embargo, clasificó erróneamente a 17 personas sanas como si tuvieran la enfermedad (falsos positivos) y no logró detectar la enfermedad en 52 casos, clasificándolos como sanos (falsos negativos).

Tabla 4. Matriz de confusión P

<b>K_neighbors=1</b>		<b>Predicción</b>	
		Si tiene	No tiene
<b>Valores reales</b>	Si tiene	VP=517	FN=52
	No tiene	FP=17	VN=520

VP: Verdaderos Positivos, FP: Falsos Positivos, FN: Falsos negativos, VN: Verdaderos Negativos.

En la primera fase del entrenamiento del modelo KNN, el valor k fue igual a 2. Este logró una exactitud superior al 93%, con unas métricas balanceadas por ambas clases, con una precisión y sensibilidad del 92%-93%. Sin embargo, cuando se comenzó a optimizar el número de vecinos y se empezó a incrementar el número k hasta valores superiores, se detectó que el valor k=1 reportaba una mayor exactitud del 94%. En este caso óptimo, la clase “sí tiene” logró una precisión del 97% y una sensibilidad del 91%. En la clase “no tiene” obtuvo una precisión del 91% y una sensibilidad del 97%. Como se observa en la Figura 5, las métricas correspondientes a los valores mencionados.

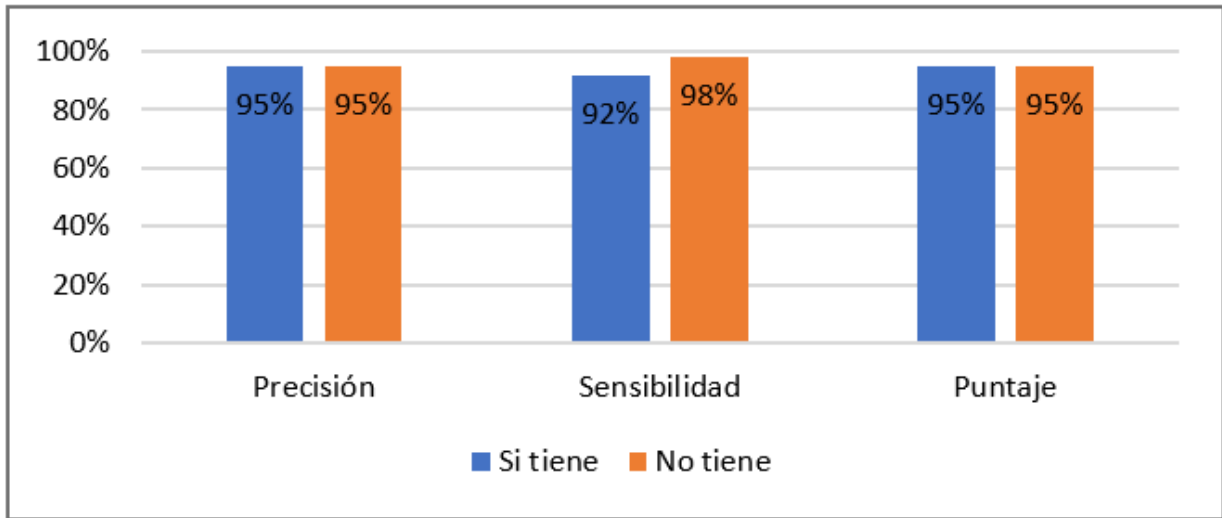


Figura 5. Métricas del modelo KNN por clase

En el desarrollo con Django, se elaboró una interfaz de programación de aplicaciones (API) destinada a recibir datos clínicos ingresados por el usuario, procesarlos y generar un diagnóstico codificado en formato. La aplicación en acceso se encuentra regida por un sistema de autenticación y administración de roles. El usuario con un personal médico autorizado puede acceder a la generación de informes, cuyas credenciales se encuentran generadas y administradas exclusivamente por el administrador. De esa forma el formulario de la interfaz de predicción fue usado por el personal médico para introducir los datos clínicos y serológicos del paciente, que fueron enviados al servidor a través de una vista en Django, que procesó la información, cargó el modelo (modelo\_entrenado.pkl) y generó la predicción de enfermedad celíaca en tiempo real, mostrando el resultado en pantalla. Se hicieron pruebas con el conjunto de datos para determinar el nivel de confianza del modelo, los resultados se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Predicción de enfermedad celíaca con datos clínicos

Atributo	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
Edad	8	20	15
Género	Masculino	Femenino	Masculino
Diabetes	No	Si	Si
Tipo de Diabetes	Ninguno	2	1
Diarrea	Esteatorrea	Inflamatoria	Acuosa

Atributo	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
Pérdida de peso	No	Si	No
Heces pastosas	No	Si	No
IgA	3	2.20	2.40
IgG	10	9	9.50
IgM	1.30	1.30	1.50
<b>Predicción</b>	No tiene EC.	Si tiene EC.	Si tiene EC.

Un estudio previo con una muestra de 50 personas reportó una exactitud del 96 % al aplicar el algoritmo KNN para predecir enfermedad celíaca a partir de variables clínicas [16]. El modelo desarrollado en este estudio obtuvo una exactitud general del 94% lo que evidencia su solidez en el proceso de clasificación y resalta que la incorporación de variables serológicas contribuye significativamente a mejorar la eficacia. La eficacia del algoritmo KNN en distintos contextos ha sido reportada en diversos estudios. Se ha utilizado con éxito sobre datos de expresión génica; sin embargo, estas aproximaciones no son comparables directamente con la nuestra, dado que el enfoque de este trabajo se centra en variables clínicas y serológicas [28].

Una limitación relevante del presente estudio es el empleo de una base de datos pública proveniente de la plataforma Kaggle, la cual no proporciona detalles suficientes sobre las condiciones y criterios de recolección aplicados. Esto reduce la posibilidad de extrapolar los resultados a escenarios clínicos. Sin embargo, este estudio realizó un proceso de limpieza de datos, eliminando atributos sin definición clara o sin relevancia clínica. Además, se corrigió el desbalance entre clases mediante técnicas de sobremuestreo, lo que permitió mejorar la capacidad predictiva del modelo. Los resultados respaldan el uso del algoritmo de vecinos más cercanos como apoyo en el diagnóstico inicial de la enfermedad celíaca, al basarse en criterios clínicos y serológicos. Esta solución automatizada se alinea con la práctica actual. Además, tiene el potencial de reducir el infradiagnóstico, la morbilidad y la mortalidad asociadas.

## Conclusiones

El presente estudio confirma que el uso del algoritmo KNN constituye una herramienta eficaz para predecir la enfermedad celíaca, utilizando parámetros clínicos y serológicos, respaldado por un alto nivel de exactitud en los resultados obtenidos. Esta aproximación ayuda a optimizar el diagnóstico temprano, especialmente en casos que podrían pasar desapercibidos bajo criterios clínicos convencionales.

Se desarrolló una interfaz web basada en Django que permitirá al personal médico ingresar datos clínicos y serológicos del paciente, generando de forma automática un informe de predicción, el cual puede ser enviado

al correo electrónico registrado. Esta implementación refuerza la aplicabilidad del modelo en contextos reales, favoreciendo su integración en entornos clínicos digitales. Como proyección futura, se destaca la necesidad de validar externamente el modelo mediante conjuntos de datos clínicamente verificados y estandarizados. Además, se sugiere ampliar su uso en cohortes poblacionales y explorar su aplicabilidad frente a otras enfermedades con perfiles clínicos similares, consolidando así su utilidad como herramienta diagnóstica complementaria en la práctica médica.

## Contribución de Autoría

Daniel Lévano Rodríguez: [Conceptualización](#), [Investigación](#), [Metodología](#), [Redacción - borrador original](#). Flor Elizabeth Cerdán León: [Supervisión](#), [Administración de proyectos](#). Cesar Rolando Salazar Giraldo: [Software](#), [Validación](#). Jadira Dina Vasquez Castro: [Curación de datos](#). Marita Abigail Carbajal Bazán: [Análisis formal](#). Aldana Camila Zea Mendoza: [Visualización](#), [Escritura](#), [revisión y edición](#).

## Referencias

- [1] S. Jabeen *et al.*, “Disease specific symptoms indices in patients with celiac disease—a hardly recognised entity,” *Front Nutr*, vol. 9, Sep 2022.
- [2] B. Lebwohl and A. Rubio-Tapia, “Epidemiology, presentation, and diagnosis of celiac disease,” *Gastroenterology*, vol. 160, no. 1, pp. 63–75, Jan 2021.
- [3] A. F. Syam *et al.*, “Prevalence and factors associated with celiac disease in high-risk patients with functional gastrointestinal disorders,” *PLoS One*, vol. 19, no. 6, p. e0297605, Jun 2024.
- [4] Ö. Aydemir *et al.*, “Polymorphisms in intron 1 of hla-dra differentially associate with type 1 diabetes and celiac disease,” Jun 2023.
- [5] E. Crehuá-Gaudiza *et al.*, “Diagnóstico de enfermedad celiaca en la práctica clínica: presente y futuro,” *An Pediatr (Engl Ed)*, vol. 94, no. 4, pp. 223–229, Apr 2021.
- [6] T. B. Houmich and B. Admou, “Celiac disease: Understandings in diagnostic, nutritional, and medicinal aspects,” *Int J Immunopathol Pharmacol*, vol. 35, Jan 2021.
- [7] P. Singh *et al.*, “Who to screen and how to screen for celiac disease,” *World J Gastroenterol*, vol. 28, no. 32, pp. 4493–4507, Aug 2022.
- [8] A. H. Abend *et al.*, “Estimation of prevalence of autoimmune diseases in the united states,” *J Clin Invest*, vol. 135, no. 4, Dec 2024.
- [9] D. Andari *et al.*, “Clinical presentations and outcomes of celiac disease in children and adolescents,” *Front Pediatr*, vol. 13, Jan 2025.
- [10] C. M. Trovato *et al.*, “Clinical presentations of celiac disease,” *Nutrients*, vol. 17, no. 1, p. 129, Dec 2024.
- [11] A. A. Esmail *et al.*, “Celiac disease among outpatient attendees with gastrointestinal complaints,” *USTJMS*, vol. 3, Feb 2025.
- [12] H. Wieser *et al.*, “Gastrointestinal and hepatobiliary manifestations associated with untreated celiac disease,” *J Clin Med*, vol. 13, no. 15, p. 4579, Aug 2024.
- [13] M. Alfawaz *et al.*, “Clinical characteristics of celiac disease patients in qassim region,” *J Family Med Prim Care*, vol. 13, no. 3, pp. 827–832, Mar 2024.
- [14] G. Ortiz *et al.*, “New cut-off values of antitransglutaminase antibodies processed by chemiluminescence,” *JPGN Rep*, vol. 6, no. 2, pp. 107–112, May 2025.

- [15] N. Conrad *et al.*, “Incidence, prevalence, and co-occurrence of autoimmune disorders over time,” *The Lancet*, vol. 401, no. 10391, pp. 1878–1890, Jun 2023.
- [16] S. K. Dooraki, “Early detection of celiac disease through machine learning algorithms,” *JCMCR*, vol. 5, no. 3, Mar 2024.
- [17] A. F. A. H. Alnuaimi and T. H. K. Albaldawi, “An overview of machine learning classification techniques,” *BIO Web Conf*, vol. 97, Apr 2024.
- [18] F. Piccialli *et al.*, “Precision medicine and machine learning towards the prediction of potential celiac disease,” *Sci Rep*, vol. 11, p. 5683, Mar 2021.
- [19] M. Torres-Vásquez *et al.*, “Impact of oversampling algorithms in the classification of guillain-barré syndrome,” *Ingenius*, no. 25, pp. 20–31, 2021.
- [20] A. R. Vico *et al.*, “Predictors of the post-stroke status in the discharge from the hospital,” *Enfermería Global*, vol. 22, no. 1, Jan 2023.
- [21] C. L. Vidal-Silva *et al.*, “Experiencia académica en desarrollo rápido con python y django,” *Formación universitaria*, vol. 14, no. 5, Oct 2021.
- [22] C. E. Acosta and E. R. Vizcaino, “Implementación de un sistema para evaluar la cobertura de la red sigfox,” *Enfoque UTE*, Nov 2022.
- [23] M. L. Barbero *et al.*, “Analyzing the critical success factors in the online-game development,” *Dyna (Medellin)*, vol. 98, no. 5, Sep 2023.
- [24] D. N. and N. P. K. S., “Design and development of we-cdss using django framework,” *IEEE Access*, vol. 10, pp. 119 575–119 592, 2022.
- [25] C. M. C. Estrada *et al.*, “Diseño de un sistema web para el control de curriculum vitae electrónico,” *RITI*, vol. 10, no. 20, Dec 2022.
- [26] A. Ehsan *et al.*, “Restful api testing methodologies,” *Applied Sciences*, vol. 12, no. 9, Apr 2022.
- [27] C. Molina and V. Bonilla, “Aplicación de la metodología crisp-dm en el análisis de gases disueltos,” *Revista Técnica energía*, vol. 21, no. 1, Jul 2024.
- [28] J. Carreras, “Artificial intelligence analysis of celiac disease using transcriptomic panel,” *Healthcare*, vol. 10, no. 8, Aug 2022.



Tipo de artículo: Artículos originales

Temática: Ingeniería de software

Recibido: 26/12/2024 | Aceptado: 07/02/2025 | Publicado: 30/09/2025

Identificadores persistentes:

DOI: [10.48168/innosoft.s24.a268](https://doi.org/10.48168/innosoft.s24.a268)

ARK: [ark:/42411/s24.a268](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:org:ark:42411/s24.a268)

PURL: [42411/s24.a268](https://purl.org/urn:nbn:org:ark:42411/s24.a268)

# Evaluación de Costos en la Gestión de Inventarios: Un Estudio de Simulación Basado en Python

## *Cost Evaluation in Inventory Management: A Simulation Study Based on Python*

Francisco Bencomo Murga<sup>1</sup>[\[0009-0001-2109-3096\]](https://orcid.org/0009-0001-2109-3096), Rosa Ma Amaya-Toral<sup>2</sup>[\[0000-0002-3277-2721\]](https://orcid.org/0000-0002-3277-2721)<sup>\*</sup>, Martha Patricia García- Martínez<sup>3</sup>[\[0000-0002-7275-0842\]](https://orcid.org/0000-0002-7275-0842)

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México, Campus Chihuahua II. Ave. de las Industrias 11101.  
[M23550866@chihuahua2.tecnm.mx](mailto:M23550866@chihuahua2.tecnm.mx)

<sup>2</sup>Tecnológico Nacional de México, Campus Chihuahua II. Ave. de las Industrias 11101.  
[rosa.at@chihuahua2.tecnm.mx](mailto:rosa.at@chihuahua2.tecnm.mx)

<sup>3</sup>Tecnológico Nacional de México, Campus Chihuahua II. Ave. de las Industrias 11101.  
[martha.gm@chihuahua2.tecnm.mx](mailto:martha.gm@chihuahua2.tecnm.mx)

\*Autor para correspondencia: [rosa.at@chihuahua2.tecnm.mx](mailto:rosa.at@chihuahua2.tecnm.mx)

---

### Resumen

Este artículo presenta los resultados de un proyecto de investigación cuyo objetivo fue diseñar un proceso de simulación a través de un modelo estocástico-dinámico y la herramienta Jupyter Notebook con programación Python, para conocer y analizar el comportamiento de los costos asociados a un sistema de gestión de inventarios con demanda estocástica y con revisión periódica, en una empresa distribuidora de nuez. Se recopilaron datos sobre los costos de mantener el inventario, costos por faltante, costos de ordenar, la capacidad del almacén, los tiempos de entrega y de la demanda, correspondientes a los últimos 6 meses. Los resultados obtenidos revelaron que, en el horizonte de 3 meses, el costo operativo presenta un comportamiento parabólico en relación con la demanda, que permite identificar el punto óptimo o de equilibrio entre el inventario y los costos promedio totales, dependiendo de una demanda incierta.

**Palabras claves:** Gestión de inventarios, Simulación, Costos operativos, Demanda aleatoria, Optimización.

### Abstract

*This article presents the results of a research project whose objective was to design a simulation process using a stochastic-dynamic model and the Jupyter Notebook tool with Python programming, to understand and analyze the behavior of the costs associated with an inventory management system with stochastic demand and periodic review, in a walnut distribution company. Data was collected on inventory holding costs, shortage costs, ordering costs, warehouse capacity, delivery times and demand for the last 6 months. The results obtained revealed that, over a 3-month horizon, the operating cost presents a parabolic behavior in relation to demand, which allows identifying the optimal or equilibrium point between inventory and total average costs, depending on an uncertain demand.*

**Keywords:** *Inventory management, Simulation, Operating costs, Random demand, Optimization.*

---

## Introducción

En los ambientes de fabricación modernos, se adopta un enfoque que propone la integración de los actores de la cadena de valor, comprendiendo la cadena de suministro como la red de actores que colaboran a lo largo de todo un proceso para adquirir, convertir, y entregar productos a los clientes [1], cuando F. W. Harris en su artículo [2] introdujo conceptos de los costos asociados al manejo de inventarios, comenzó a manejarse conceptos clave que priorizan la optimización de los recursos tal como “just in time” [3], concepto que propone un recibo, proceso y entrega de bienes solo cuando son necesarios. No es de sorprender que Taiichi Ohno en su libro [3] define el exceso de inventario como parte de los 7 desperdicios.

En la globalización y evolución del comercio se comenzó a adoptar contratos más rigurosos donde empezaron a incluirse cláusulas para asegurar el suministro, a través de medidas como multas por incumplimiento [4], además de la posible obsolescencia del inventario [5], crearon la necesidad de sistemas para el planificación de materiales MRP [6] y desarrollos donde se integra el MRP con procesos clave interdepartamentales a través de una base de datos común como lo es un ERP [7], panorama que permite estudios avanzados en la reducción de costos.

Considerar diferentes aspectos en el análisis de inventarios como la recopilación de datos, el modelado de información, la experimentación y la optimización resulta fundamental y crea un ambiente con métodos de simulación [8]. Los lenguajes de programación modernos otorgan numerosas funciones acompañadas de librerías, como Numpy como una herramienta esencial para realizar operaciones matemáticas [9], y Matplotlib como una de las herramientas de visualización de datos que permiten una visualización de mayor popularidad [10], lo que facilita la toma de decisiones basadas en datos precisos [11].

## Materiales y métodos

Esta investigación tiene su base en las 7 etapas para realizar el estudio de simulación [12], esta plantea una serie de pasos clara que consta de:

1. **Definición y análisis del sistema:** Estudio preliminar para identificar interacciones, restricciones, variables y relaciones dentro del sistema. Se crean diagramas de flujo y se definen las medidas de efectividad y los resultados esperados.
2. **Recolección y análisis de datos:** Se obtienen los registros necesarios para la experimentación. Se realizan pruebas de bondad de ajuste para confirmar su validez.
3. **Implementación del modelo:** Mediante los datos recopilados se utiliza un simulador específico para

crear el modelo y obtener resultados.

4. **Verificación y validación:** Se valida su exactitud mediante comparación con datos históricos y/o pruebas a partir de los datos reales.
5. **Experimentación:** Se procesan escenarios para analizar la variable de interés, y se comparan estadísticamente.
6. **Interpretación:** Los resultados se someten a la interpretación para apoyar la toma de decisiones.
7. **Documentación:** La crea documentación técnica es para que el usuario sea capaz de utilizar del modelo desarrollado.

De igual forma la simulación de Monte Carlo [13] es fundamental para modelar la demanda aleatoria, así como identificar la distribución de probabilidad de la variable aleatoria [14] y la generación de números pseudoaleatorios [15]. Y por medio de la definición de las características principales de la simulación, podremos emular la relación modelo-sistema, descrito en la Figura 1.

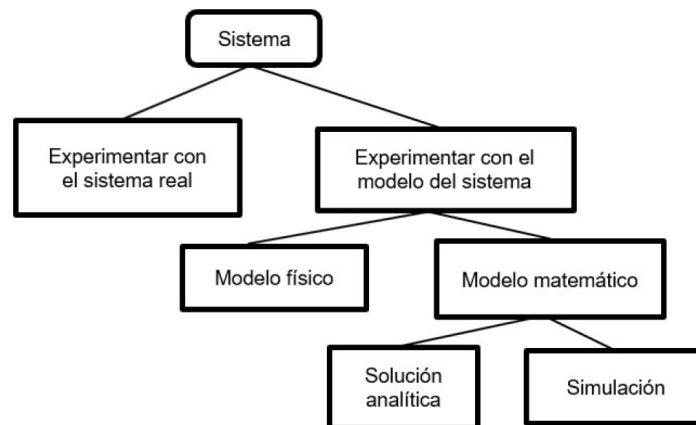


Figura 1. Esquema de la Simulación relación modelo-sistema

*Fuente: Simulación de sistemas con variables aleatorias para la toma de decisiones estratégicas [16].*

Además, Jupyter Notebook [17] se utiliza como herramienta complementaria en el análisis y visualización de datos dentro del proceso de simulación. La herramienta derivada de su interfaz interactiva permite combinar código y resultados en un solo documento. Al integrar estas características tiene como resultado la sencilla creación de gráficos y visualizaciones dinámicas con el objetivo de interpretar los datos generados en la simulación.

## Resultados y discusión

Para llevar a cabo este estudio, se recopilaron y analizaron datos relacionados con el sistema de inventarios de la tienda distribuidora de nuez. El objetivo fue analizar el comportamiento del inventario, así como los costos asociados a su gestión. A continuación, se presenta un desglose de las variables, elementos de flujo, eventos y actividades analizadas:

### Variable de estado

- Inventario promedio diario en almacén: Representa el nivel promedio de existencias disponibles en la bodega de la tienda.

### Elementos de flujo

- Clientes: Se consideran las interacciones entre los clientes y la tienda, ya que generan la demanda de nuez, afectando el inventario.

### Eventos

- Entregas del proveedor de nuez: Cada vez que se recibe un pedido del proveedor, se actualiza el nivel de inventario.
- Demanda de nuez por el cliente: La demanda diaria de los clientes impacta directamente en el consumo del inventario.
- Ventas de nuez al cliente: Las ventas concretadas reflejan el nivel de inventario disponible para satisfacer la demanda.

### Actividades

- Cálculo de los costos: Se analizaron los costos asociados al manejo del inventario, incluyendo costos de ordenar, mantenimiento de inventarios y costos por faltantes.

### Datos identificados tras el análisis

En la Tabla 1 se presentan los datos recopilados y su descripción.

Tabla 1. Recopilación de datos

Variable/Parámetro	Valor	Descripción
Costo por kilo faltante	\$6/kg	Representa el costo asociado a cada kilo de nuez que no se puede surtir debido a la falta de inventario.
Costo de mantener inventario	\$1/kg	Costo diario por mantener un kilo de nuez en el almacén, considerando almacenamiento y deterioro.
Costo de ordenar	\$1,000/orden	Costo fijo asociado al procesamiento y recepción de cada pedido realizado a la planta.
Capacidad del almacén	700 kg	Máximo nivel de almacenamiento disponible en la tienda distribuidora de nuez.
Demanda diaria promedio	100 kg/día	Resultado del análisis de datos históricos, ajustado a una distribución exponencial.
Distribución ajustada	Exponencial	Tras el estudio, se determinó que la demanda diaria sigue una distribución exponencial con una media aproximada de 100 kg/día.
Duración del horizonte de análisis	3 meses	El estudio cubre un periodo de 90 días para analizar el comportamiento del sistema de inventarios.

En la Figura 2 se presenta la estadística descriptiva de la muestra de la demanda diaria, la cual presentó una media aproximada de 100 kg/día, después de analizar una muestra de 500 datos de demanda diaria histórica.

```
In [41]: # Generar estadísticas descriptivas
descripcion = df.describe()
# Mostrar estadísticas descriptivas
print(descripcion)
skewness = df.skew()
kurt = df.kurtosis()
print("\nAsimetría (Skewness):",skewness)
print("\nCurtosis (Kurtosis):",kurt)
```

```
Datos
count    500.000000
mean      99.969905
std       99.371400
min        0.011984
25%       30.370842
50%       68.800395
75%      139.609775
max       579.856100
```

```
Asimetría (Skewness): Datos    1.857493
dtype: float64

Curtosis (Kurtosis): Datos    4.131805
dtype: float64
```

Figura 2. Estadística descriptiva de la muestra de la demanda diaria

En la Tabla 2 se presentan los datos obtenidos en la muestra de la demanda diaria.

Tabla 2. Muestra de demanda diaria

Muestra									
94.51546	118.7982	15.64874	121.565	68.77748	99.33722	143.0744	11.9107	48.58899	19.05385
191.4297	189.9046	23.93825	249.0144	299.428	154.6956	150.797	61.28484	579.8561	74.68035
173.2176	173.0497	292.0734	32.0958	238.2213	137.8475	320.1655	52.11956	7.550695	37.69048
15.70868	40.70482	66.75163	454.9824	35.73748	93.25901	14.75634	265.4549	38.21153	15.01969
362.7232	22.62785	71.82764	102.624	8.200903	37.8673	78.18447	250.053	68.44956	41.8764
14.9179	35.49725	172.8812	133.5961	33.59608	11.73453	51.42106	129.3228	70.10192	227.9646
303.7075	42.47138	27.58979	8.640979	101.0079	6.313158	92.92795	148.0169	38.21503	64.77328
215.8853	82.58373	6.481566	3.356358	92.63399	86.52622	73.43662	222.7117	85.7902	63.38144
52.89019	16.78673	198.688	76.71275	40.17619	47.35728	39.86584	28.224	193.3928	140.1268

Muestra (continuación)									
366.687	31.96797	83.82042	170.7873	125.3418	81.08312	189.2522	6.272239	29.25954	214.7161
41.29754	139.6883	167.5212	195.8719	452.0335	40.28273	22.03913	99.52419	46.65145	310.4723
96.82739	165.0408	110.9355	121.1491	10.88773	0.022515	273.1238	162.1561	28.07127	140.7365
55.74271	175.4918	106.5656	1.453514	0.011984	59.53359	31.70186	70.54427	40.58554	2.762985
127.3696	165.0304	112.6549	47.74235	172.5558	2.460621	153.9127	21.77082	50.66258	71.46932
82.52595	139.5836	296.183	20.45867	32.49367	160.3205	35.45286	52.35182	523.0415	20.37547
3.518948	38.0858	43.98597	130.5749	11.52934	35.8359	9.074489	28.01135	47.62586	19.36477
16.27006	32.73579	2.379624	1.549542	130.023	9.934096	133.9065	64.57727	171.1328	201.4601
5.802132	199.6584	17.33652	52.69217	135.7307	8.499276	11.66827	56.38876	2.489601	12.64244
293.877	111.024	28.91124	47.46267	44.97882	189.1713	199.18	8.38683	35.13978	1.209543
1.693917	8.605975	63.65713	167.7813	75.64899	130.9867	14.92928	13.69917	226.1559	63.88397
155.5998	448.1557	106.2246	16.0503	227.1482	55.73818	25.91666	73.77852	123.7597	99.60135
100.095	189.0564	116.6273	68.64868	49.07011	236.8454	75.87236	46.94613	76.55877	58.82895
54.06267	2.600717	125.052	94.10812	72.05941	130.0215	33.85594	133.908	36.88977	58.95629
34.95017	120.7459	19.69447	24.55689	44.84681	207.5409	12.51909	34.4713	105.5966	198.0094
86.89389	303.4525	16.38928	68.03903	47.21014	116.1099	2.969733	126.5566	43.86277	21.36175
53.65738	25.73809	68.38981	20.1044	88.35913	73.30528	81.83323	100.3121	336.5323	7.521093
95.52879	102.4619	50.45682	66.24411	43.07104	91.27893	167.6059	22.07979	544.4813	2.584348
85.8034	15.44131	150.931	66.57596	33.37697	211.2475	16.41069	51.24405	34.3472	26.80239
50.82956	63.6441	69.81053	353.1045	95.01013	322.2444	74.21268	313.572	149.3588	62.95014
18.16602	362.459	9.766895	62.25364	8.392936	86.64813	20.41264	25.28039	41.54288	122.5234
5.326328	27.0846	88.0052	71.9236	95.05271	116.6738	59.4014	297.6911	67.3018	215.6496
75.11473	131.3661	14.5113	9.174214	168.3012	112.078	58.8355	44.87328	463.0974	34.60068
11.70106	142.2077	51.67987	12.79202	50.90869	123.8248	117.9386	36.1458	15.37464	72.49924
165.7896	122.2396	337.6097	2.834759	30.41483	35.89647	185.598	40.35986	97.33532	9.0145
143.4942	98.51731	33.40249	7.081714	162.9039	192.8692	110.8125	23.80205	69.27737	2.602964
23.95523	143.326	74.32816	107.9936	236.184	7.597678	121.3909	145.1726	46.33231	5.59146
38.26449	65.37195	37.87535	210.2652	178.8026	107.5998	246.6884	114.1643	55.68836	68.41041
88.52496	22.43852	24.03912	93.65721	1.862547	62.45278	87.24892	77.50366	150.1503	76.90143
1.241401	39.74904	350.2009	12.61078	176.6815	150.743	30.23888	311.0483	27.29628	54.15124
4.134867	1.160998	75.73772	90.5463	148.8628	303.1009	293.8398	80.09548	177.8939	250.6495
55.12862	52.93751	48.90066	127.8575	273.8649	63.84643	6.492385	37.96826	122.0039	13.62424
24.05522	62.18507	203.4552	69.18992	145.1417	88.82025	15.36746	2.104748	73.19394	30.94043

Muestra (continuación)									
17.3692	132.7105	12.61994	185.0719	82.83608	21.46619	1.738576	287.1485	31.20761	1.821865
197.4442	113.4723	57.1234	119.3742	61.60252	8.573763	160.7592	182.7649	23.40762	63.02848
201.4984	83.94929	5.376347	156.3762	428.2299	39.03004	170.0923	11.20205	518.0814	135.242
167.4853	83.80657	59.23607	107.9399	169.9779	41.9	417.8919	18.20035	24.68239	118.9538
28.08057	26.26758	124.2852	102.7178	116.4919	28.47207	167.3517	76.99023	149.371	44.51512
180.9228	125.172	16.90211	55.05045	12.72938	214.078	49.56528	68.32127	478.4201	343.5402
13.23096	72.84194	45.42073	382.9963	33.04857	35.62046	68.82331	110.8477	178.1472	39.69928
175.1843	37.56482	152.6663	29.59187	88.17762	65.04477	57.80299	123.6719	0.758726	26.06221

Con los datos recopilados, después de someterlos a una prueba de Bondad de Ajuste, con un nivel de significancia del 5 %, presentaron el ajuste a la Distribución Exponencial con una media de 99.9699 kg., el cual se utilizó para el análisis posterior. La Figura 3 muestra un fragmento de código que simula la gestión de inventarios, considerando costos y demandas diarias. A continuación se describe el funcionamiento de cada parte del código:

```
# Parámetros
media_dia = 110 # demanda media diaria en kg
capacidad_bodega = 700 # capacidad máxima de almacenamiento en kg
costo_ordenar = 1000 # costo por orden
costo_faltante = 6 # costo por kg de falta de inventario
costo_mantener = 1 # costo de mantener el inventario por kg
dias_simulacion = 90 # horizonte de simulación (3 meses)
revisiones = dias_simulacion // 7 # número de revisiones en 90 días
cantidad_inicial = capacidad_bodega # cantidad inicial en la bodega
```

Figura 3. Definición de parámetros en Jupyter Notebook

Inicialización de variables:

1. inventario y costo\_total se usan para registrar los valores de inventario y costos diarios.
2. demanda\_diaria genera las demandas diarias de manera aleatoria.
3. inventario\_actual representa el inventario disponible en el día actual.

4. costo\_acumulado lleva un registro del costo total acumulado.

Ciclo de simulación:

1. Por cada día (for dia in range (dias\_simulacion)), se calcula la demanda del día.
2. Reposición de inventario: Cada 7 días, se realiza un pedido para rellenar el inventario hasta su capacidad máxima, añadiendo el costo de ordenar.
3. Actualización de inventario: Se descuenta la demanda diaria del inventario disponible.
4. Costo por faltantes: Si el inventario llega a ser negativo, se calcula el costo por productos no disponibles.
5. Costo por mantener inventario: Se añade un costo diario proporcional al inventario restante.

Almacenamiento y cálculo de resultados: Se guardan los valores diarios en listas (inventario y costo\_total).

La Figura 4 contiene los visuales de la simulación en Jupyter, que consiste en dos gráficos que describen el comportamiento del inventario y de los costos, en una simulación de gestión de inventarios, representando la estabilización, la cual indica estabilidad en el resultado final obtenido.

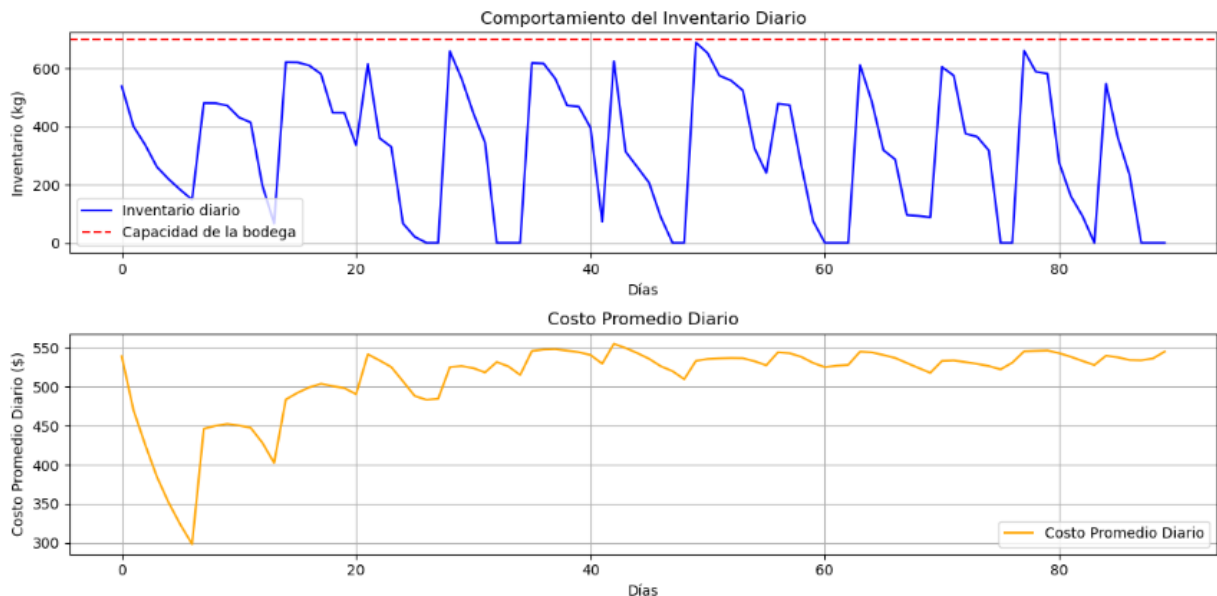


Figura 4. Visuales de la simulación en Jupyter Notebook

Después de un número determinado de réplicas, se puede analizar el impacto de diferentes estrategias de inventario en los costos operativos de la empresa.

En la etapa de verificación se simuló el comportamiento de inventarios y cálculo del costo total promedio diario a lo largo de varias réplicas. Las estadísticas descriptivas obtenidas para el costo total promedio diario, tras 5 réplicas muestran que el valor promedio fue de \$590.30, lo que indica un costo general aproximado en la simulación. La mediana, fue de \$ 575.24, refleja el valor central de los costos diarios, lo que sugiere que la mitad de los valores están por encima de este valor y la otra mitad por debajo. Los resultados se muestran en la Figura 5.

```
Resultados de las réplicas (Costo total promedio diario):  
[622.7330309143181, 559.4327604984452, 627.0942166484178, 575.2351679038311, 56  
7.0244279570787]  
  
Estadísticas descriptivas:  
Promedio: $590.30  
Mediana: $575.24  
Desviación estándar: $28.73  
Mínimo: $559.43  
Máximo: $627.09
```

Figura 5. Estadísticas descriptivas de las réplicas.

En la fase de experimentación, se modificará la media de la demanda entrante para analizar cómo afecta el comportamiento del sistema de inventarios y los costos asociados. Al ajustar la media de la demanda, se podrá observar cómo los cambios en la cantidad de nuez solicitada por los clientes impactan el inventario diario, la frecuencia de pedidos y los costos por faltantes y mantenimiento. Este enfoque permitirá evaluar la sensibilidad del sistema ante variaciones en la demanda, ayudando a identificar estrategias más eficientes para optimizar el control de inventarios y reducir costos en diferentes escenarios.

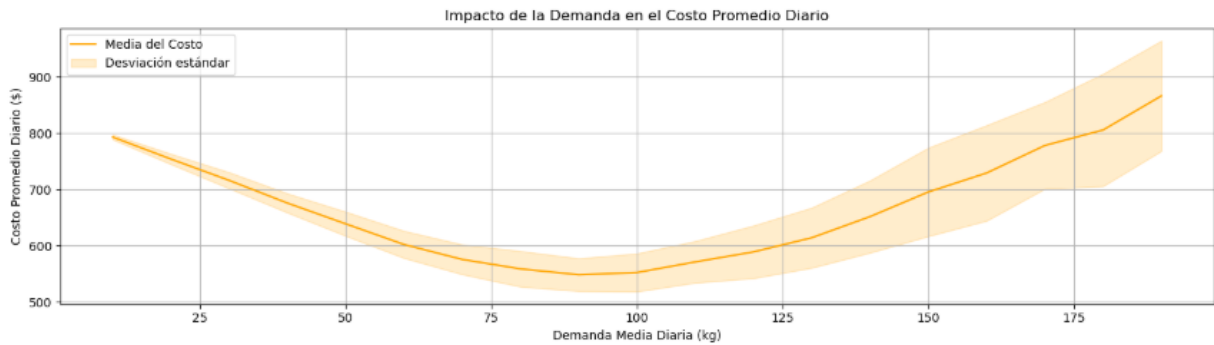


Figura 6. Gráfico de sensibilidad a la demanda variable.

En la Figura 6, según el experimento, consistió en mantener en el eje X la demanda media diaria y en el eje Y el costo promedio diario, donde se puede observar que, a medida que la demanda diaria varía, el costo promedio diario se comporta de manera no lineal, siguiendo una forma similar a una parábola, lo que permite visualizar el punto mínimo en el cual el costo suele ser el óptimo (menor), lo cual ocurre con una demanda aproximada de 100 kg./día.

## Conclusiones

La simulación permitió evaluar la relevancia de diferentes factores del sistema de inventarios en los costos operativos y se considera una herramienta útil para analizar diferentes casos. Como se observó en la Figura 6, el costo promedio diario que se asocia a gestión del inventario tiene un comportamiento parabólico en relación con la demanda.

A niveles bajos de demanda, los costos aumentan debido a los costos fijos de mantener inventario y costo por faltantes. Sin embargo, al aumentar la demanda hasta un punto adecuado, los costos tienden a disminuir debido a una mejor optimización en la gestión del inventario, por otro lado, cuando la demanda supera ese nivel óptimo, los costos aumentan nuevamente debido a factores como el coste por mantener sobre inventario, arriesgándonos a nuevos costos no considerados en el modelo, como la fecha de caducidad de los productos al tratarse de inventario para el consumo.

El comportamiento indica la importancia de encontrar un equilibrio adecuado entre la demanda y los niveles de inventario, para maximizar la eficiencia operativa y minimizar los costos.

## Contribución de Autoría

Francisco Bencomo Murga: [Investigación](#), [Software](#), [Análisis formal](#), [Recursos](#), [Visualización](#), [Validación](#), [Redacción - borrador original](#). Rosa Ma Amaya Toral: [Conceptualización](#), [Metodología](#), [Administración de proyectos](#), [Escritura](#), [revisión y edición](#). Martha Patricia García Martínez: [Supervisión](#), [Curación de datos](#).

## Referencias

- [1] D. Ivanov, *Global supply chain and operations management: A decision-oriented introduction to the creation of value*, 1st ed. New York, NY: Springer Berlin Heidelberg, 2018.
- [2] F. W. Harris, “How many parts to make at once,” *Factory, The Magazine of Management*, vol. 10, pp. 135–136, 1913.
- [3] T. Ohno, *Toyota production system: beyond large-scale production*. Cambridge, Mass: Productivity Press, 1988.
- [4] M. Christopher, *Logistics & supply chain management*, 4th ed. Harlow: Financial Times Prentice Hall, 2011.
- [5] F. Campuzano-Bolarín, F. Marín-García, J. A. Moreno-Nicolás, M. Bogataj, and D. Bogataj, “Supply chain risk of obsolescence at simultaneous robust perturbations,” *Sustainability*, vol. 11, no. 19, p. 5484, oct 2019.
- [6] C. A. Ptak, C. Smith, and J. Orlicky, *Orlicky’s material requirements planning*, 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 2011.
- [7] F. Robert Jacobs and F. C. T. Weston, “Enterprise resource planning (erp)—a brief history,” *J of Ops Management*, vol. 25, no. 2, pp. 357–363, mar 2007.
- [8] D. F. Muñoz and D. Villafuerte, “Análisis de la entrada en simulación estocástica,” *Inf. tecnol.*, vol. 26, no. 1, pp. 13–22, 2015.
- [9] “Numpy,” <https://numpy.org/>, accedido: 17 de marzo de 2025.
- [10] “Matplotlib — visualization with python,” <https://matplotlib.org/>, accedido: 17 de marzo de 2025.
- [11] M. E. J. Barzola, “Desarrollo de un sistema de control de procesos de entrada y salida de productos con el uso de lenguaje de programación java,” 2015.

- [12] E. Jiménez, M. Pérez, and F. Sanz, “Modelado y simulación de sistemas logísticos y de producción mediante redes de petri.”
- [13] “¿qué es la simulación de monte carlo? - explicación de la simulación de monte carlo - aws,” <https://aws.amazon.com/es/what-is/monte-carlo-simulation/>, accedido: 17 de marzo de 2025.
- [14] “Métodos y fórmulas para la distribuciones de probabilidad - minitab,” <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/help-and-how-to/probability-distributions-random-data-and-resampling-analyses/how-to/probability-distributions/methods-and-formulas/methods-and-formulas/>, accedido: 17 de marzo de 2025.
- [15] C. C. C. Alberto and M. M. A. Iván, “Uso y evaluación de mapas logísticos caóticos en generadores de números pseudo-aleatorios.”
- [16] M. D. C. Argüelles Arellano, “Simulation of systems with random variables for making strategic decisions,” *CyS*, vol. 27, no. 3, sep 2023.
- [17] “Jupyter notebook documentation — jupyter notebook 7.4.0b1 documentation,” <https://jupyter-notebook.readthedocs.io/en/latest/>, accedido: 17 de marzo de 2025.



Tipo de artículo: Artículos originales  
Temática: Desarrollo de aplicaciones informáticas  
Recibido: 12/01/2025 | Aceptado: 25/02/2025 | Publicado: 30/09/2025

Identificadores persistentes:  
DOI: [10.48168/innosoft.s24.a205](https://doi.org/10.48168/innosoft.s24.a205)  
ARK: [ark:/42411/s24.a205](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:pe:ulasalle-1-42411-s24-a205)  
PURL: [42411/s24.a205](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:pe:ulasalle-1-42411-s24.a205)

# Sistema web de comercialización para mejorar la eficiencia y gestión logística en LAKTOMART S.A.

## *Web-based commercialization system to improve efficiency and logistics management at LAKTOMART S.A.*

Gianfranco Vidondo Chafloc<sup>1</sup>[[0009-0009-8756-3116](#)], Juan Rodrigo Villanueva Ramos<sup>2</sup>[[0009-0004-1246-4408](#)]\*, Luis Enrique Boy Chavil<sup>3</sup>[[0000-0002-3488-2668](#)], Juan Pedro Santos Fernandez<sup>4</sup>[[0000-0002-8882-9256](#)]

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo-Perú. [t1053300221@unitru.edu.pe](mailto:t1053300221@unitru.edu.pe)

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo-Perú. [t1053300721@unitru.edu.pe](mailto:t1053300721@unitru.edu.pe)

<sup>3</sup>Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo-Perú. [lboy@unitru.edu.pe](mailto:lboy@unitru.edu.pe)

<sup>4</sup>Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo-Perú. [jsantos@unitru.edu.pe](mailto:jsantos@unitru.edu.pe)

\*Autor para correspondencia: [t1053300721@unitru.edu.pe](mailto:t1053300721@unitru.edu.pe)

### Resumen

El propósito de la investigación fue la mejora de la eficiencia y gestión logística en el área de comercio y distribución de la empresa LAKTOMART S.A. a través del desarrollo de una plataforma en línea utilizando la arquitectura Modelo-Vista-Controlador (MVC). Se adoptó un diseño preexperimental con una orientación cuantitativa y tuvo un alcance explicativo. La metodología aplicada fue el RUP (Rational Unified Process). Para la implementación de la aplicación web, se usaron HTML5, CSS3, JQuery V3.7.1, PHP V8.2.0 con el framework Laravel V10.48.180, domPDF V0.8 y MySQL V8.0.31 para la administración de bases de datos. Además, la evaluación de los indicadores económicos vinculados a los subsistemas de ventas y distribución, generaron resultados positivos que confirmaron la viabilidad económica del sistema desarrollado en cuestión. Las hipótesis fueron evaluadas utilizando los test de normalidad según Shapiro-Wilk, y se aplicaron pruebas estadísticas inferenciales, como la prueba t de Student para muestras relacionadas y la prueba no paramétrica de Mann-Whitney para muestras independientes, manejando un nivel de significancia del 5%. El software estadístico R fue utilizado para todas las pruebas. En base a los hallazgos se concluyó que la plataforma en línea con arquitectura MVC mejora la eficiencia y eficacia en el negocio electrónico de LAKTOMART S.A.

**Palabras claves:** aplicativo web, negocios, comercialización, logística, metodología RUP.

### Abstract

*The purpose of the research was the improvement of efficiency and logistics management in the area of commerce and distribution of the LAKTOMART S.A. company through the development of an online platform using the Model-View-Controller (MVC) architecture. A pre-experimental design was adopted with a quantitative orientation and had an explanatory scope. The methodology applied was the RUP (Rational Unified Process). For the implementation of the web application, HTML5, CSS3, JQuery V3.7.1, PHP V8.2.0 were used with the Laravel V10 framework. .48.180, domPDF V0.8 and MySQL V8.0.31 for database administration in addition, the evaluation of the economic indicators linked to the sales and distribution subsystems generated positive*

*results that confirmed the economic viability of the developed system in question. The hypotheses were evaluated using the Shapiro-Wilk normality tests, and inferential statistical tests were applied, such as the student's t test for related samples and the non-parametric Mann-Whitney test for independent samples, managing a significance level of. 5%. R statistical software was used for all tests. Based on the findings, it was concluded that the online platform with MVC architecture improves efficiency and effectiveness in LAKTOMART S.A.'s electronic business.*

**Keywords:** *web app, business, marketing, logistics, RUP methodology.*

---

## Introducción

Según [1], es fundamental que cualquier persona o entidad comprenda los principios de los sistemas de información para que utilice de manera efectiva la tecnología en el entorno empresarial. Según estos autores, los sistemas de información constituyen estructuras precisas concebidas para reunir, procesar, guardar y difundir información, con el propósito de facilitar la toma de decisiones y la gestión organizativa, destacando así su importancia en la gestión y operatividad eficiente de las organizaciones. En [2], indican que los sistemas de información utilizan computadoras, software, instrucciones, modelos de análisis, bases de datos y métodos administrativos para ayudar en la toma de decisiones. Históricamente, estos sistemas se han desarrollado dentro de cada espacio funcional con el fin de respaldar y optimizar la y efectividad operacional.

De acuerdo con [3], destacan que, en el ámbito de ventas, la información requiere dos componentes fundamentales: herramientas informáticas y habilidades para manejar la información. Mientras que las herramientas tecnológicas facilitan el acceso y procesamiento de datos, es crucial que los profesionales de ventas puedan seleccionar la información más relevante entre toda la disponible. Esta selección no solo optimiza las estrategias de ventas, sino que también mejora la capacidad de personalizar las ofertas y responder eficazmente a las necesidades del cliente. La decisión sobre qué datos utilizar y cómo aplicarlos para resolver problemas, aprender sobre el mercado y tomar decisiones estratégicas efectivas debe ser realizada por el ser humano, quien debe contar con las habilidades necesarias para interpretar y utilizar esta información.

Por otro lado, debemos considerar el tipo de arquitectura de software al desarrollar un sistema de información. El estudio [4], indican que existen diversos esquemas de arquitectura, cada uno con características específicas que les otorgan su nombre. Algunos de los patrones más relevantes incluyen el de capas, Cliente-Servidor, Maestro-Esclavo, de Tubería y Filtros, de Pizarra y el Modelo-Vista-Controlador (MVC).

En este contexto, se seleccionará el Patrón Modelo-Vista-Controlador (MVC), dado que ofrece una escalabilidad superior para la aplicación y simplifica la integración de nuevos módulos. Adicionalmente [5], destaca que el Patrón Modelo-Vista-Controlador (MVC) no solo resuelve problemas asociados con el uso de interfaces gráficas

en aplicaciones, sino que también facilita la definición clara de las capas en la arquitectura Cliente-Servidor.

El estudio [6], explican que el MVC divide la aplicación en tres bloques distintos: modelo, vista y controlador, teniendo un rol específico cada uno. El modelo se encarga de gestionar las representaciones genéricas de los datos manejados por el sistema; la vista es responsable de mostrar esta data a los consumidores finales, y el controlador coordina el flujo de la aplicación. En el contexto de ventas, cuando un consumidor interactúa con la plataforma mediante la vista, el controlador recibe y procesa esas peticiones. En este proceso, el controlador se comunica con el modelo para manejar la data necesaria y satisfacer la petición. Por último, cuando ya se ha procesado la solicitud, el controlador indica a la vista que muestre a data al usuario. De acuerdo con [7], señala que el MVC ha probado ser un enfoque eficiente en el sector de ventas, dado que las aplicaciones que lo adoptan proporcionan una capacidad de extensión y un mantenimiento superiores en relación con aquellas que utilizan otros esquemas de diseño.

El procesamiento de pedidos abarca todas las actividades desde que un cliente realiza y confirma un pedido hasta su distribución, incluyendo el seguimiento del estado y la gestión de cambios y devoluciones. Con el avance tecnológico y la implementación de sistemas de información, se han observado mejoras significativas en la logística de este proceso, como la automatización de tareas, la optimización del servicio al cliente y la reducción de tiempos operativos.

LAKTOMART S.A. es una empresa prominente que se especializa en la elaboración y mercadeo de productos lácteos. Con una red de distribución, LAKTOMART S.A. viene a posicionarse como una de las principales compañías en su industria, resaltando su dedicación a la calidad y la invención de sus productos. No obstante, la empresa ha enfrentado desafíos en la mejora de la eficiencia y la gestión logística en el área de comercios y repartición. Mediante encuestas realizadas al personal, se pudieron reconocer los siguientes conflictos, los cuales se analizaron para abordar las deficiencias existentes en este proceso: (1) Errores humanos por procesos manuales. (2) Falta de capacidad del sistema para manejar datos. (3) Insuficiencia en la disponibilidad de recursos. (4) Ineficiencia en la distribución de productos. (5) Inexactitud y falta de disponibilidad de la información.

Esta investigación tiene como propósito examinar la relación entre dos variables: la implementación de una plataforma web basado en la arquitectura MVC a modo de variable independiente o causal, y la eficiencia y gestión logística en el área de ventas y distribución como variable dependiente o efecto. El estudio proporciona una base teórica para futuras investigaciones, facilitando la formulación de recomendaciones y nuevas hipótesis.

El objetivo principal es elevar la eficiencia y la gestión logística en el área de Comercios y Distribución de LAKTOMART S.A. mediante la realización de una plataforma web basado en MVC.

## Materiales y métodos

### Metodología

Se utilizó un diseño preexperimental que consta de dos fases: un pretest y un postest. La indagación se fundamentó en medir la variable dependiente inicialmente para luego evaluar la variable independiente (pretest). Posteriormente, se realizó un cálculo de la variable sometida (postest) después de aplicar la prueba correspondiente a la variable autónoma.

Para reunir la data indispensable para la indagación, se empleó una encuesta que consistía en una ficha de recopilación de información y un cuestionario. Es importante mencionar que este cuestionario se organizó en 3 marcos y 10 interrogantes, cuya ficha se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Ficha del interrogatorio aplicado para la recopilación de información.

Característica	Descripción
Nombre:	Encuesta de satisfacción de trabajadores de LAKTOMART S.A.
Autores:	Gianfranco Vidondo Chafloc; Juan Rodrigo Villanueva Ramos.
Variable medida:	Nivel de satisfacción.
Dimensiones abordadas:	Eficiencia, disponibilidad y conformidad.
Dirigido a:	Trabajadores del área de ventas y distribución de LAKTOMART S.A.
Cantidad de preguntas:	10.
Tipo de preguntas redactadas:	Cerradas en la escala del 1 al 5, con las siguientes opciones: [1] Totalmente satisfecho. [2] Muy satisfecho. [3] Satisfecho. [4] Muy satisfecho. [5] Totalmente satisfecho.
Tiempo de aplicación:	10 minutos.

Para que el cuestionario fuera aplicado de manera correcta y tuviera validez, se recurrió a la aprobación de cuatro docentes con experiencia del departamento de Ingeniería de la Escuela de Posgrado de la UNT. Acto seguido se calculó el nivel de correlación entre los jueces utilizando el factor de correlación W de Kendall, conforme a [8], este coeficiente es útil para evaluar cuánto coinciden varios jueces o para analizar la relación entre tres o más variables. El valor de W varía entre 0 y 1, donde 1 indica un acuerdo completo y 0 muestra un desacuerdo total. Lo ideal es que el valor esté cerca de 1. Si no se logra un acuerdo significativo en la primera ronda, se pueden hacer rondas adicionales.

Se aplicó con un margen de error del 5 %, consiguiéndose un resultado positivo de 0.078 que demostraba que había concordancia entre los criterios elegidos por los expertos, además su  $\rho$ -value fue de 0.005 que cumplía con los parámetros de ser menor que 0.05.

Por otra parte, se ratificó la solidez de la encuesta a través del factor estadístico Alfa de Cronbach, con un margen error del 5 %. Según [9], este factor es la herramienta numérica más comúnmente empleada para medir la consistencia interna. Además, su valor oscila entre 0 y 1; a medida que se aproxima a 1, mayor será la confiabilidad del instrumento evaluado. El resultado obtenido fue de 0.82, lo que se considera válido por ser superior a 0.80.

Se utilizó el software estadístico R, según lo definido en [10], es un medio y lenguaje de programación que se utiliza para llevar a cabo estudios estadísticos de datos y generar gráficos.; a través del entorno de desarrollo integrado (IDE) RStudio 4.4.1., para el respectivo análisis inferencial. Los datos, según su indicador evaluado fueron los siguientes: T1 (tiempo en el registro de pedidos), T2 (tiempo en el procesamiento de envío de pedidos) y los resultados de la encuesta aplicada a 15 colaboradores (nivel de satisfacción del usuario interno). Estos datos fueron sujeto a pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk. Se optó por estas pruebas porque, como indica [11], nos dice que cuando la dimensión de la muestra es reducida (generalmente,  $n < 50$ ), la prueba de Shapiro-Wilk es la más comúnmente utilizada, además, es bastante fácil de aplicar con cualquier software de estadística.

Los resultados evidenciaron que los datos de T2 y los resultados de la encuesta se ajustaron a una distribución normal, para los cuáles se les aplicó una prueba t de Student para muestras relacionadas y para muestras no relacionadas respectivamente, para respaldar la hipótesis que sostiene que el sistema mencionado mejora el nivel de gozo de los empleados y reduce el tiempo de procesamiento de ventas. Mientras que en el caso de los datos de T1, se demostró que no pasaban normalidad, por consiguiente, se les aplicó la prueba no paramétrica de Mann-Whitney para muestras independientes.

En esta investigación se utilizó la metodología RUP para desarrollar el sitio web. El estudio [12], sostienen que esta metodología se dividió en cuatro etapas: inicio, preparación, edificación y transformación. Esta inventiva nos permitió hacer un correcto análisis y planteamiento de todos y cada uno de los componentes esenciales para nuestro sistema.

Además, en [13], afirma que el uso de la metodología RUP mejora la comunicación entre el grupo de desarrollo y el usuario, al mismo tiempo genera una documentación comprensible y minuciosa para posteriores informes del sistema, con el objetivo de manejar la tecnología y los alrededores de desarrollo de manera eficiente.

## Diseño y construcción del sistema web

El sistema web se diseñó, haciendo uso de la plantilla sneat template como base para la interfaz principal. Los materiales empleados incluyeron HTML5 para la estructura básica de la página web, CSS3 para la personalización de la misma y JQuery 3.7.1 para simplificar algunas funciones. Además, se eligió a PHP 8.2.0 como lenguaje de programación, a Laravel 10.48.18 como framework, a MySQL 8.0.31 con gestor de base de datos y a domPDF 0.8 como generador de pdf para reportes para elaborar el marco de trabajo.

El diseño del sistema se hizo acorde al MVC para estructurar la aplicación dividiéndola en modelo, vista y controlador. Según [14], separa las responsabilidades, su implementación es más fácil durante el desarrollo. Además, la posibilidad de usar tantos modelos como se necesite permite que el código sea más legible y comprensible, lo que, a su vez, facilita su corrección.

## Resultados y discusión

### Fases de desarrollo

En esta fase, se avanzó en la creación del sistema web, cumpliendo con las tareas y cronogramas definidos. Se prestó atención a la estabilidad y funcionalidad del software, asegurando que las estructuras del sistema fueran robustas. A continuación, se proporciona una descripción detallada del diagrama de componentes del sistema desarrollado en la Figura 1.

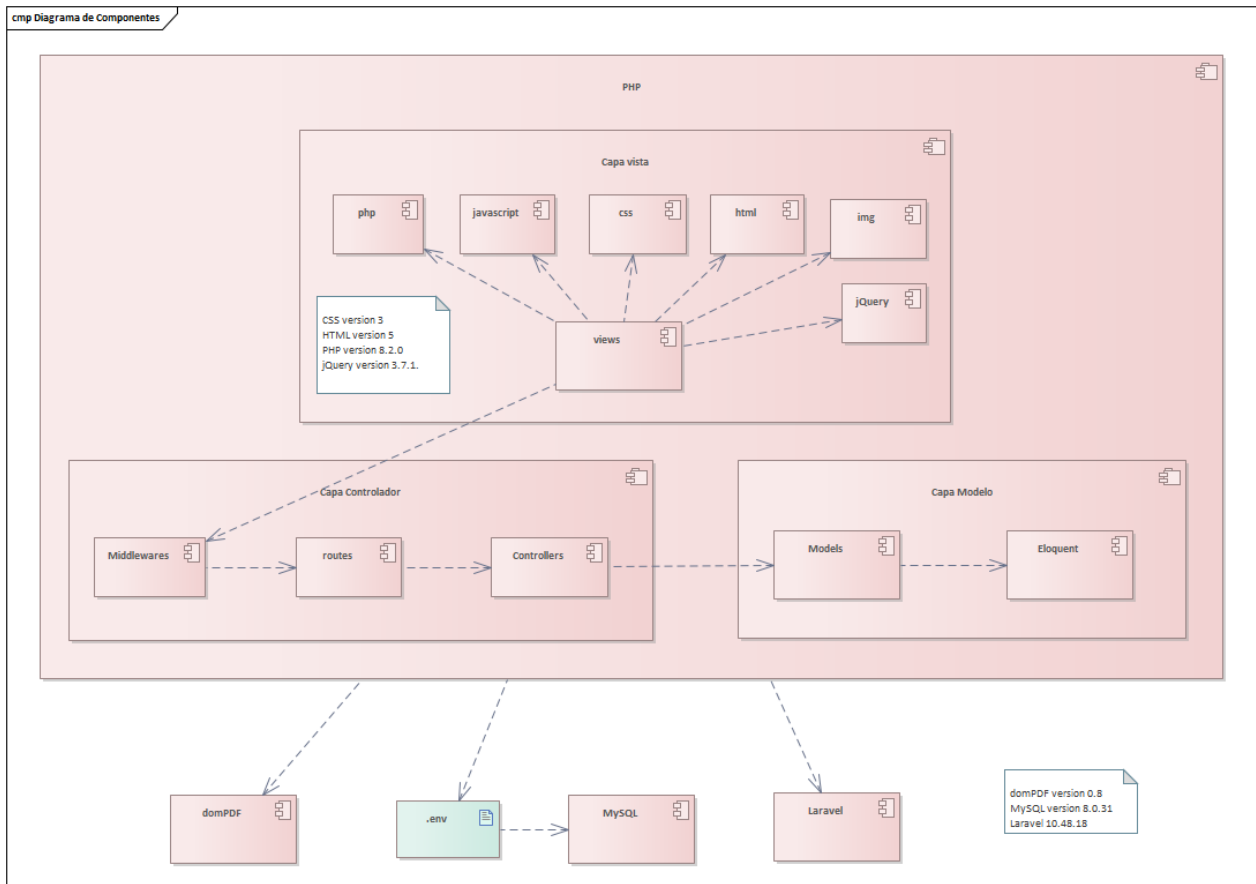


Figura 1. Diagrama de componentes del sistema

Además, el diagrama de despliegue ilustra la estructura física de un sistema informático, mostrando cómo los componentes de software (aplicaciones, bases de datos) se distribuyen en los equipos hardware (servidores, estaciones de trabajo). En este caso, se visualiza una red local que conecta diversos dispositivos, revelando la topología de la red y las interconexiones entre los componentes, como se observa en la Figura 2.

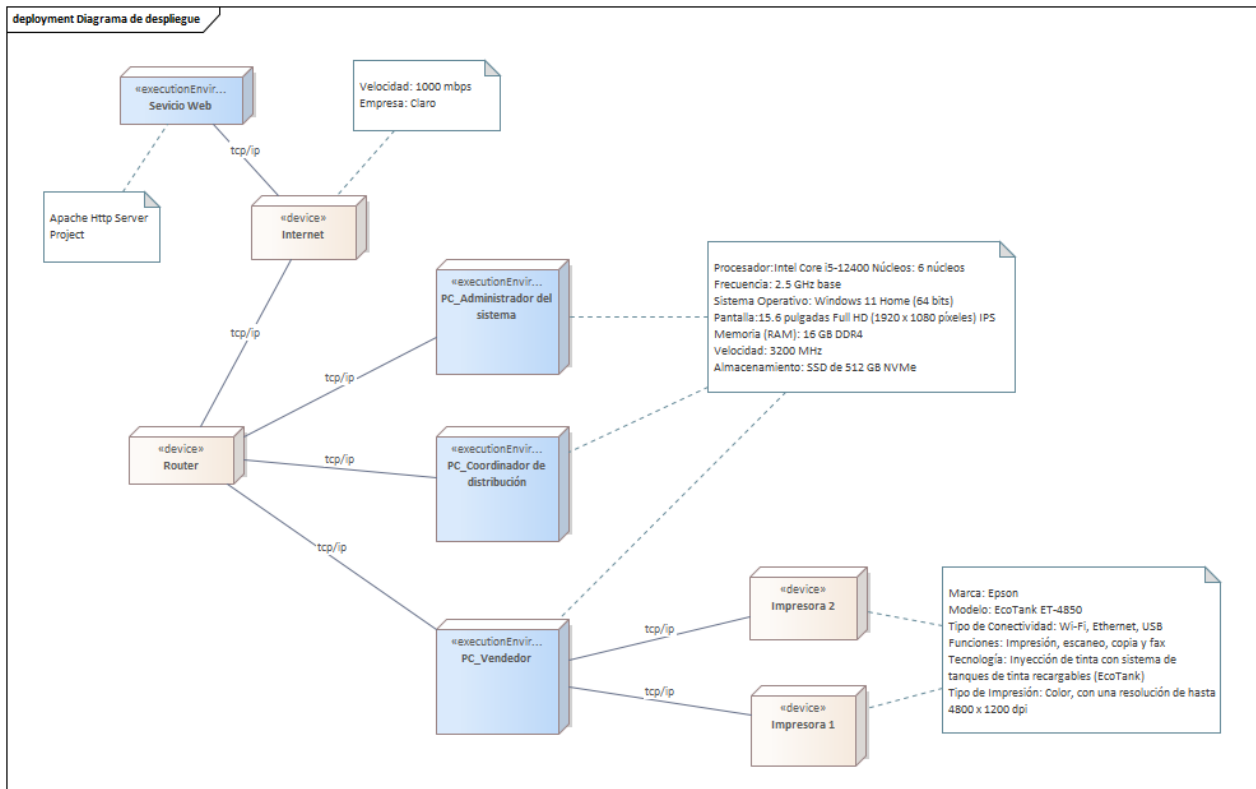


Figura 2. Diagrama de despliegue

Asimismo, se desarrolló la representación del sistema utilizando notación UML. En este contexto, se utilizaron los diagramas de casos de uso para ilustrar de manera clara el funcionamiento del sistema. A continuación, se presenta en la Figura 3 el esquema general de casos de uso, que muestra los actores y las acciones que pueden realizarse en el área de ventas y distribución.



Figura 3. Diagrama general de casos de uso

Además, se desarrolló un modelo físico de la BD, como se presenta en la Figura 4. Este modelo es fundamental ya que proporciona una representación gráfica detallada de la configuración del sistema y de las relaciones entre las diversas tablas.

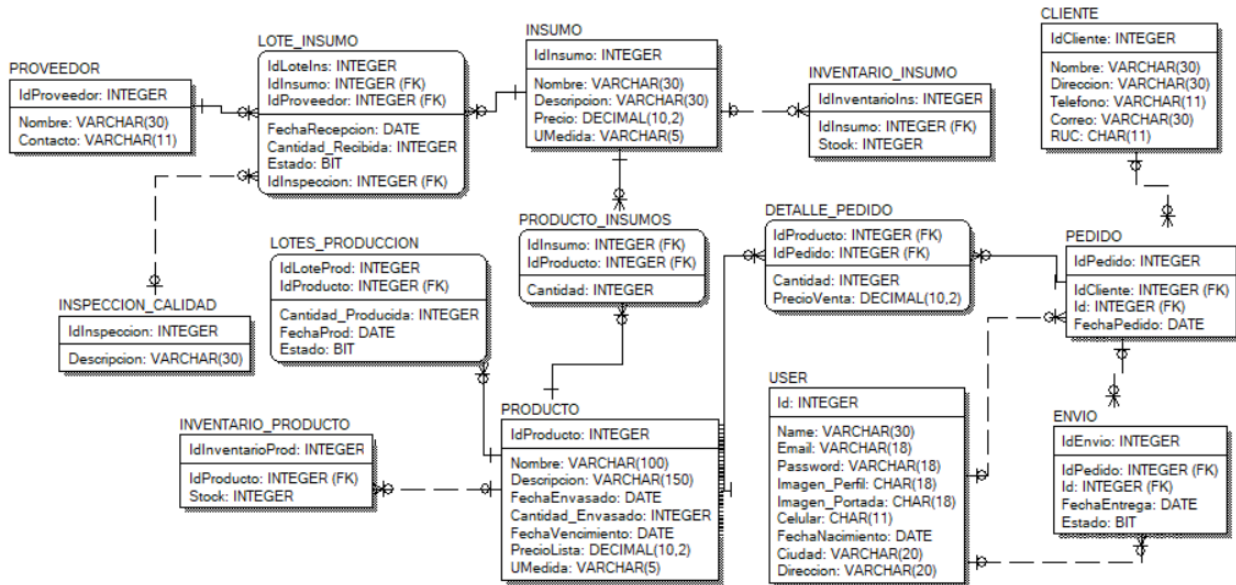


Figura 4. Modelo físico de base de datos

## Funcionalidades del software

El sistema debe permitir el manejo de usuarios y permisos, posibilitando la administración de roles y accesos. Los usuarios podrán ingresar y actualizar pedidos, asignar clientes, y verificar la disponibilidad de productos en tiempo real. Además, el sistema debe registrar consultas y quejas, verificar pedidos, y actualizar el stock de manera eficiente. Se incluirá la capacidad de generar comprobantes de pago (CDP), registrar pagos y entregas, y gestionar la información de los clientes. El proceso de entrega será monitoreado, permitiendo la asignación de repartidores y el reporte de problemas. Finalmente, el sistema generará reportes gráficos de ventas y reportes de evaluación de promociones, simplificando la toma de decisiones fundamentadas en datos.

Por otro lado, el sistema debe ser altamente adaptable a la demanda, proporcionando respuestas rápidas incluso bajo condiciones de alta carga, y garantizando una capacidad robusta para manejar múltiples solicitudes de manera eficiente. Las búsquedas deben ser rápidas y eficientes, y la interfaz debe ser clara y accesible para cualquier usuario. Además, el sistema debe ser accesible y asegurar una alta disponibilidad en todo momento. Debe contar con mecanismos de recuperación ante desastres y ser capaz de seguir operando eficazmente a pesar de fallos. Finalmente, el sistema debe ser compatible con diferentes navegadores y funcionar correctamente en diversos dispositivos, asegurando una experiencia de usuario consistente y fiable.

A continuación, se muestran diversas representaciones visuales del sistema web.

La Figura 5 presenta la interfaz del mantenedor del subsistema de ventas, que permite el registro de un nuevo pedido, la búsqueda de un pedido y generar un reporte de la lista de pedidos en pdf.



Figura 5. Interfaz de subsistema de ventas.

La Figura 6 muestra el formulario diseñado para registrar los pedidos, además de una tabla resumen de los detalles del pedido y los botones para registrar o cancelar la operación.

The screenshot shows the 'Registrar Pedido' (Register Order) form in the LAKTOMART system. The form is located under the 'Ventas / Pedidos' (Sales / Orders) section. The user is identified as 'USUARIO: Juan Villanueva' with the role 'ROL: Vendedor'. The form includes the following fields and elements:

- Fecha:** 15/08/2024
- No. Doc.:** 00000000
- Cliente:** -Seleccione Cliente-
- RUC:** [Empty field]
- Dirección:** [Empty field]
- Producto:** -Seleccione Producto-
- Unidad:** [Empty field]
- Precio:** [Empty field]
- Cantidad:** 1
- Agregar al carrito:** Green button

Below the form is a table with the following columns:

OPCIONES	CODIGO	UNIDAD	CANTIDAD	PUNTA	IMPORTE
----------	--------	--------	----------	-------	---------

At the bottom of the form, there are two buttons: 'Registrar' (red) and 'Cancelar' (red). A 'Total:' label is also present next to an empty input field.

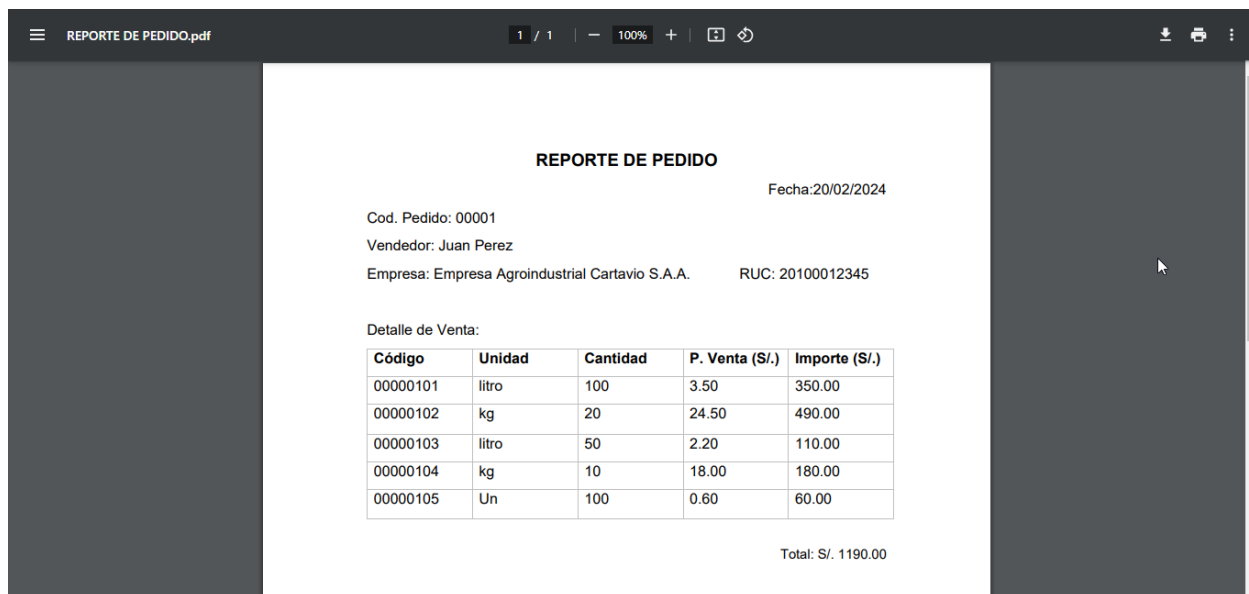
Figura 6. Formulario del registro de una nueva venta.

La Figura 7 presenta la interfaz del mantenedor del subsistema de distribución, que muestra la lista de envíos de los pedidos realizados por el vendedor y permite editar el estado de la entrega del pedido.

N° ENVÍO	N° PEDIDO	DISTRIBUIDOR	FECHA ESTIMADA DE ENTREGA	ESTADO	ACCIÓN
1	1	Rodolfo Romero	2024-08-18	Entregado	Editar estado
2	2	Rodolfo Romero	2024-08-20	Entregado	Editar estado
3	3	Rodolfo Romero	2024-09-01	No Entregado	Editar estado
4	4	Pablo Huamananchumo	2024-09-16	No Entregado	Editar estado
5	5	Jesus Vidondo	2024-10-23	No Entregado	Editar estado
6	6	Jesus Vidondo	2024-09-30	No Entregado	Editar estado
7	7	Jesus Vidondo	2024-10-24	No Entregado	Editar estado
8	10	Rodolfo Romero	2024-08-16	No Entregado	Editar estado
9	9	Rodolfo Romero	2024-07-23	Entregado	Editar estado

Figura 7. Interfaz de la lista de envíos.

La Figura 8 nos muestra un documento pdf generado por el sistema donde se ve un reporte de un pedido y todos sus datos principales.



The image shows a PDF viewer displaying a report titled "REPORTE DE PEDIDO". The report includes the following information:

- Fecha: 20/02/2024
- Cod. Pedido: 00001
- Vendedor: Juan Perez
- Empresa: Empresa Agroindustrial Cartavio S.A.A. RUC: 20100012345

Detalle de Venta:

Código	Unidad	Cantidad	P. Venta (S/.)	Importe (S/.)
00000101	litro	100	3.50	350.00
00000102	kg	20	24.50	490.00
00000103	litro	50	2.20	110.00
00000104	kg	10	18.00	180.00
00000105	Un	100	0.60	60.00

Total: S/. 1190.00

Figura 8. Reporte de pedido

La Figura 9 nos enseña un documento pdf generado por el sistema donde se ve un reporte del estado de los pedidos para ver cuáles ya han sido entregados y cuáles no.



Figura 9. Reporte de estados de pedidos

### Indicadores económicos

Para el análisis de rentabilidad del proyecto, se calcularon las cifras expuestas en la Tabla 2 mediante el método de puntos de casos de uso, el cálculo del tiempo de desarrollo del sistema y los costos asociados para la elaboración del sistema.

Tabla 2. Datos para el estudio de rentabilidad del proyecto.

Datos	Valores
Costo de inversión	S/ 22,553.35
Costos operacionales por año	S/ 5,467.58
Beneficios por año	S/ 20,400.00
Tiempo de vida del proyecto	3 años
Tasa de interés a plazo fijo	8 %
Tasa de interés	13.5 %

Con los datos previamente mencionados, se procedió a calcular los siguientes indicadores económicos: VAN, B/C y el TIR. A continuación, se muestran los resultados obtenidos y su respectiva condición en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados de los indicadores económicos

Indicador	Valor	Condición
VAN	S/ 3,577.83	VAN $\geq 0$
Beneficio / Costo	1.08	B/C $\geq 1$
TIR	20.15 %	TIR $\geq 8\%$

Dado que todos los indicadores económicos cumplieron su condición respectiva, concluimos que el proyecto es rentable.

### Pruebas de normalidad

Por otro lado, en el análisis de los tres indicadores, las obtenciones de la prueba de normalidad, que se revelan en la tabla 4, indican que los datos del T1 no sigue una distribución normal, ya que en el pretest el valor de  $\rho$ -value es inferior a .05. Sin embargo, los datos del T2 y los resultados de la encuesta sí siguen una distribución normal, dado que los valores de  $\rho$ -value del pretest y posttest son superiores a .05.

Tabla 4. Resultados de prueba de Shapiro-Wilk

<b>PRUEBA DE NORMALIDAD (Shapiro-Wilk)</b>			
<b>Indicador 1:</b> Tiempo en el registro de pedidos	<b>-value</b>	<b>Condición</b>	<b>Normales</b>
Pretest	0.02179	0.02179 $\leq 0.05$	No
Posttest	0.1277	0.1277 $\geq 0.05$	
<b>Indicador 2:</b> Tiempo en el procesamiento de envío de pedidos	<b>-value</b>	<b>Condición</b>	<b>Normales</b>
Pretest	0.2388	0.2388 $\geq 0.05$	Si
Posttest	0.1715	0.1715 $\geq 0.05$	
<b>Indicador 3:</b> Nivel de satisfacción del usuario interno	<b>-value</b>	<b>Condición</b>	<b>Normales</b>
Pretest	0.3733	0.3733 $\geq 0.05$	Si
Posttest	0.886	0.886 $\geq 0.05$	

Los resultados de estas pruebas revelaron que los datos referentes al tiempo en el procesamiento de envío de pedidos y al grado de satisfacción de los participantes superaron la prueba de normalidad. Por lo tanto, se utilizó una prueba t para las muestras relacionadas del T2 y para las muestras independientes del grado de satisfacción del usuario interno, con el fin de contrastar la suposición que propone que el sistema en cuestión acrecienta la satisfacción del personal. Esta conjetura fue aprobada con un grado de confianza del 95 %. De igual manera, para verificar la conjetura de que un sitio web basado en MVC reduce el tiempo de gestión de pedidos, se llevó a cabo una prueba de Mann-Whitney debido a que los datos no superaron la prueba de normalidad; esta prueba se realizó con un margen de error del 5 %. Las obtenciones se presentan en la tabla 5, que detalla los estudios de contrastación de hipótesis.

Tabla 5. Contrastación de hipótesis (margen de error 5 %)

Hipótesis	Tipo de prueba	-value	Decisión
Un sistema web basado en MVC amenora el tiempo para el registro de pedidos.	Mann Whitney	6.846e-12	Aceptar
Un sistema web basado en MVC amenora el tiempo de procesamiento de envío de pedidos.	T para datos no pareados	2.2e-16	Aceptar
Un sistema web basado en MVC acrecienta el grado de satisfacción de los trabajadores.	T para datos pareados	1.501e-07	Aceptar

Por último, la tabla 6 ofrece un resumen de las variaciones observadas entre los datos recolectados en el pretest y postest luego de la ejecución del sitio web mediante el MVC. En esta tabla, se destacan mejoras en los tiempos correspondientes a los indicadores 1 y 2, además de un aumento en el indicador 3, que evalúa la satisfacción de los participantes.

Tabla 6. Nivel de impacto

Indicador	Pretest media	Postest media	Nivel de impacto
Tiempo en el registro de pedidos	291.00	15.40	275.60
Tiempo en el procesamiento de envío de pedidos	756.67	26.37	730.30
Nivel de satisfacción del usuario interno (escala de 1-5)	3.15	4.38	1.23

A continuación, se presenta en la Figura 10 el nivel de impacto en porcentaje de cada indicador de la presente investigación

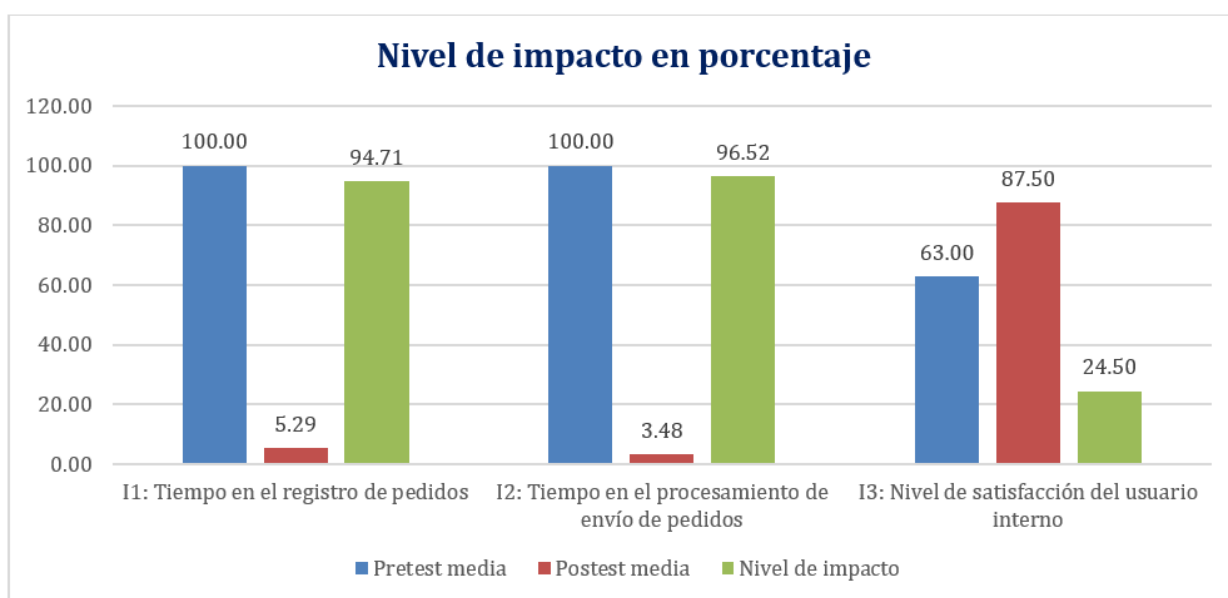


Figura 10. Nivel de impacto en porcentaje

## Discusión

La implementación del sistema web con arquitectura MVC ha mostrado una mejora significativa en varios indicadores clave para la empresa LAKTOMART S.A. En términos generales, se ha logrado una reducción notable en el tiempo necesario para registrar pedidos, en comparación con los resultados obtenidos en el trabajo

de investigación [15], en el cual se elabora un sistema web para optimizar la gestión de pedidos de la empresa agrícola Viña Vieja Viña Santa Isabel S. A. C. basando sus criterios en el algoritmo AHP, donde se evidenció una reducción del 75 % aproximadamente que permitió comprobar la efectividad de su algoritmo. Tomando como punto de referencia esto, se demuestra una mayor eficiencia, debido a que se disminuyó un 94.71 %.

Asimismo, [16] construyó una aplicación web para la gestión de pedidos e inventario de una empresa artesanal utilizando servicios web restful, que, a diferencia de nosotros, se sustentó en la metodología SCRUM haciendo uso de varias herramientas de desarrollo nos mostró una reducción de tiempo de 33,36 % en el proceso de pedidos para la empresa. Ante este estudio, mostramos la eficiencia de nuestra metodología al disminuir un 96.52 % el tiempo de procesamiento de envío de pedidos.

En lo que respecta, al estudio [17] se diseñó un sistema web para la gestión de encuestas de servicio del Instituto Nacional de Estadística e Informática, que se fundamentó en la metodología UWE – UML, logrando mejorar el grado de satisfacción del usuario de 167 a 423 en base a puntuación, lo que se traduce como un incremento del 71 %, haciendo ver que la metodología tiene puntos clave que resaltan en su efectividad. Por nuestra parte, en el sistema web implementado para la empresa LAKTOMART S.A., el nivel de satisfacción se vio incrementado de 3.15 a 4.38 en la escala de Likert, lo que significa un aumento del 24.5 %.

Para futuras mejoras, se recomienda considerar la implementación de mecanismos adicionales para aumentar la flexibilidad del sistema, así como realizar evaluaciones periódicas para ajustar el rendimiento basado en la retroalimentación continua. Esto garantizará que el sistema siga siendo eficiente en un entorno empresarial en constante cambio.

## Conclusiones

Con la implementación de un sistema web basado en arquitectura MVC en la empresa LAKTOMART S.A., con una confiabilidad del 95 % se llegaron a las impresiones siguientes:

1. Se acertó el tiempo para el registro de pedidos de 291.00 a 15.40 segundos, evidenciándose una disminución del 94.71 % del tiempo requerido para este proceso.
2. Se acertó el tiempo de procesamiento de envío de pedidos de 756.67 a 26.37, evidenciándose una disminución del 96.52 % del tiempo requerido para este proceso.
3. Se incrementó el nivel medio de satisfacción del usuario interno de 3.15 a 4.38, en una escala de 1 a 5, con un progreso del 24.50 %.

Se concluye que se alcanzó el objetivo general, evidenciándose que una plataforma web basado en MVC acrecienta la eficiencia y la gestión logística en el área de Comercios y Distribución de LAKTOMART S.A.

## Contribución de Autoría

Gianfranco Vidondo Chafloc: [Redacción - borrador original](#). Juan Rodrigo Villanueva Ramos: [Conceptualización](#). Luis Enrique Boy Chavil: [Supervisión](#). Juan Pedro Santos Fernandez: [Validación](#).

## Referencias

- [1] M. Tunque-Lizana, L. Quispe-Huaman, and T. Tunque-Dueñas, “Sistemas de información y toma de decisiones en una organización de salud: un análisis integral,” *Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú*, 2023.
- [2] D. Abrego Almazán, Y. Sánchez Tovar, and J. M. Medina Quintero, “Influencia de los sistemas de información en los resultados organizacionales,” *Contaduría y administración*, vol. 62, no. 2, pp. 303–320, 2017.
- [3] C. A. Vega-Pérez, H. A. Grajales-Lombana, and L. A. Montoya Restrepo, “Sistemas de información: definiciones, usos y limitantes al caso de la producción ovina colombiana,” *Orinoquia*, vol. 21, no. 1, pp. 64–72, 2017.
- [4] L. F. Santiago González *et al.*, “Aplicación web basada en el patrón de arquitectura de software modelo-vista-controlador (mvc) para incrementar el desempeño académico en la asignatura de matemáticas básicas,” *Tecnología Educativa Revista CONAIC*, vol. 8, no. 1, pp. 7–21, 2021.
- [5] C. A. López S., “Cómo mantener el patrón modelo vista controlador en una aplicación orientada a la web,” *Revista Inventum*, vol. 4, no. 7, pp. 72–78, 2009.
- [6] F. Enríquez *et al.*, “Impacto del patrón modelo vista controlador (mvc) en la seguridad, interoperabilidad y usabilidad de un sistema informático durante su ciclo de vida,” *EASI: Engineering and Applied Sciences in Industry*, vol. 2, no. 1, pp. 11–16, 2023.
- [7] E. Bascón Pantoja, “El patrón de diseño modelo-vista-controlador (mvc) y su implementación en java swing,” *Acta Nova*, vol. 2, no. 4, pp. 493–507, 2004. [Online]. Available: <http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci.arttext&pid=S1683-07892004000100005>

- [8] G. Martínez Curbelo, M. E. Cortés Cortés, and A. C. Pérez Fernández, “Metodología para el análisis de correlación y concordancia en equipos de mediciones similares,” *Universidad y Sociedad*, vol. 8, no. 4, pp. 65–70, 2016.
- [9] S. F. Soler Cárdenas and L. Soler Pons, “Usos del coeficiente alfa de cronbach en el análisis de instrumentos escritos,” *Revista Médica Electrónica*, vol. 34, no. 1, pp. 01–06, 2012.
- [10] M. I. Fernández Lizana, “Advantages of r as a tool for data analysis and visualization in social sciences,” *Revista Científica de La UCSA*, vol. 7, no. 2, pp. 97–111, 2020.
- [11] M. Molina, “Análisis de normalidad. una imagen vale más que mil palabras,” *Revista Electrónica de AnestesiaR*, vol. 14, no. 12, 2023.
- [12] F. Sáenz Blanco and F. Gutiérrez Sierra, “Conformación de equipos ágiles para el desarrollo de software: revisión de la literatura,” *Dimensión Empresarial*, vol. 16, no. 2, pp. 39–54, 2017.
- [13] D. A. V. Paredes, L. C. C. Martínez, R. M. L. Bermúdez, and S. R. P. Mendoza, “Análisis de la metodología rup en el desarrollo de software académico mediante la herramienta django,” *Recimundo*, vol. 3, no. 2, pp. 964–979, 2019.
- [14] A. Pérez, “Cuatro enfoques metodológicos para el desarrollo de software rup – msf – xp - scrum,” *Revista Inventum*, vol. 6, no. 10, pp. 64–78, 2011.
- [15] H. Cajusol and D. Lizbeth, “Sistema web para optimizar la gestión de pedidos de la empresa agrícola viña vieja viña santa isabel s. a. c,” Master’s thesis, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, 2018. [Online]. Available: <https://tesis.usat.edu.pe/xmlui/handle/20.500.12423/1600>
- [16] M. Duque, R. Rosero, and S. Piñas, “Aplicación web para la gestión de pedidos e inventario de una empresa artesanal utilizando servicios web restful,” *Revista Polo del Conocimiento*, vol. 7, no. 8, pp. 971–922, 2022.
- [17] J. J. Ajalcriña Garcia and J. D. Cruzado Cabrera, “Sistema web para la gestión de encuestas de servicio del instituto nacional de estadística e informática, ica 2022,” Master’s thesis, Universidad César Vallejo, 2022. [Online]. Available: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/110421>



Tipo de artículo: Artículos originales  
Temática: Inteligencia Artificial  
Recibido: 25/01/2025 | Aceptado: 22/02/2025 | Publicado: 30/09/2025

Identificadores persistentes:  
DOI: [10.48168/innosoft.s24.a236](https://doi.org/10.48168/innosoft.s24.a236)  
ARK: [ark:/42411/s24.a236](https://nbn-resolving.org/ark:/42411/s24.a236)  
PURL: [42411/s24.a236](https://purl.org/42411/s24.a236)

# Técnicas y Herramientas de Deep Learning para la Predicción Meteorológica Inteligente

## *Deep Learning Techniques and Tools for Intelligent Weather Forecasting*

Jose Luis Gutierrez Diaz<sup>1</sup>[\[0009-0002-0446-4454\]\\*, Kevin Parimango Gómez<sup>2</sup>\[\\[0009-0009-9035-2184\\]\]\(https://orcid.org/0009-0009-9035-2184\),  
Marcelino Torres Villanueva<sup>3</sup>\[\\[0000-0002-9797-1510\\]\]\(https://orcid.org/0000-0002-9797-1510\)](https://orcid.org/0009-0002-0446-4454)

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Trujillo, Perú. Dirección: Av. Juan Pablo II s/n, Trujillo, Perú.  
[jgutierrez@unitru.edu.pe](mailto:jgutierrez@unitru.edu.pe)

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Trujillo, Perú. Dirección: Av. Juan Pablo II s/n, Trujillo, Perú.  
[kparimango@unitru.edu.pe](mailto:kparimango@unitru.edu.pe)

<sup>3</sup>Universidad Nacional de Trujillo, Perú. Dirección: Av. Juan Pablo II s/n, Trujillo, Perú.  
[mtorres@unitru.edu.pe](mailto:mtorres@unitru.edu.pe)

\*Autor para correspondencia: [jgutierrez@unitru.edu.pe](mailto:jgutierrez@unitru.edu.pe)

---

### Resumen

En el presente artículo, se desarrolló un análisis de las técnicas de aprendizaje profundo para lograr una predicción meteorológica usando los enfoques estadísticos de reducción de escala. Estos son importantes, ya que permiten ajustar las proyecciones climáticas de gran escala generadas por el modelo climático MCG a pronósticos más exactos y definidos para áreas específicas, de tal manera permitiendo sobrepasar las limitaciones de los modelos numéricos tradicionales en la representación de fenómenos locales y de pequeña escala. Se analizaron estudios que ponen en práctica las Redes Neuronales Convolucionales (CNN) y Redes Generativas Adversariales (GAN) con el objetivo de poder mejorar la resolución espacial y temporal de los datos climáticos. Ambas herramientas y técnicas han demostrado ser efectivas en proyectos como VALUE, que se encarga de evaluar métodos de downscaling en Europa, y DL4DS, una biblioteca en Python, encargada de aplicar algoritmos de aprendizaje profundo al downscaling empírico de datos climáticos. El principal objetivo de este artículo fue analizar la efectividad de ambas herramientas y técnicas enfocadas en la precisión, escalabilidad y eficiencia computacional, brindando una perspectiva completa de su uso para la mejora de las predicciones meteorológicas a nivel local.

**Palabras claves:** modelo climático, predicción meteorológica, reducción de escala, Modelos de Circulación General, Redes Neuronales Convolucionales, Redes Generativas Adversariales.

### Abstract

*In this paper, an analysis of deep learning techniques for weather forecasting using statistical downscaling approaches was developed. These are important, since they allow adjusting large-scale climate projections generated by the GCM climate model to more accurate and defined forecasts for specific areas, thus allowing overcoming the limitations of traditional numerical models in the representation of local and small-scale phenomena. Studies implementing Convolutional Neural Networks (CNN) and Generative Adversarial Networks*

*(GAN) were analyzed in order to improve the spatial and temporal resolution of climate data. Both tools and techniques have proven to be effective in projects such as VALUE, which is in charge of evaluating downscaling methods in Europe, and DL4DS, a Python library in charge of applying deep learning algorithms to empirical downscaling of climate data. The main objective of this paper was to analyze the effectiveness of both tools and techniques focused on accuracy, scalability and computational efficiency, providing a complete overview of their use for the improvement of local weather forecasting.*

**Keywords:** *climate model, weather forecasting, downscaling, General Circulation Models, Convolutional Neural Networks, Adversarial Generative Networks.*

---

## Introducción

La predicción meteorológica representa una parte esencial para el funcionamiento del mundo moderno, debido a que, al tener exactitud en el clima, permitirá planificar actividades diarias sobre salir a pasear, realizar compras, deportes; para la agricultura tomar decisiones y planificar sobre qué momentos son los más adecuados para sembrar, cosechar y regar, en el transporte por los diferentes medios, ya sea terrestres, acuáticos, aéreos influye de manera decisiva para mantener una buena seguridad de todas las personas, evitando daños y pérdidas humanas y materiales. [1] También, el pronóstico específico del clima brinda información sobre cómo es el comportamiento de sistemas meteorológicos complejos, así como de la dinámica del cambio climático, aportando a una visión más compleja para el medioambiente.

La predicción meteorológica se conoce como el método científico de predecir el estado de la atmósfera basado en un determinado tiempo y lugar. Para ello se usa un enfoque cuantitativo que con el tiempo se ha ido perfeccionando, permitiendo obtener resultados de áreas limitadas; mediante la resolución de un complejo sistema de ecuaciones matemáticas no lineales basadas en modelos matemáticos específicos, La PNM usa algoritmos informáticos, con el fin de elaborar una previsión basada en las condiciones meteorológicas actuales. [2]

Esta predicción ha dependido desde sus inicios del sistema de la Predicción Numérica del Tiempo (NWP) el cual permite conocer los procesos que se dan en la atmósfera como el movimiento de las masas de aire, la energía en juego o los procesos termodinámicos implicados. Para su ejecución se consideran tres etapas bien marcadas, la primera es la asimilación de los datos, donde diariamente se registran en todo el mundo millones de datos meteorológicos de todo tipo; como segundo paso es que el modelo construye a partir de los datos, un estado inicial, significa que se asigna valores a cada 6 punto de la malla antes apuntada, para que a partir de ello el ordenador resuelva las ecuaciones y vaya calculando la evolución futura de variables como la presión, la temperatura o el viento, como resultado se obtiene el cálculo de una gigantesca matriz de números. El último paso es la transformación de esa matriz numérica, en los diferentes campos meteorológicos que tienen

a su disposición los meteorólogos [3]. A través del tiempo se han desarrollado diversos modelos, uno de los más importantes es el modelo de Investigación y Pronóstico del Tiempo (WRF), siendo uno de los modelos atmosféricos más usados en el mundo, esto debido a su gran resolución, precisión, naturaleza de código abierto, apoyo de la comunidad y sus diversas disciplinas. [2]

[4] La predicción del tiempo ha pasado a la era del Big Data gracias al progreso de los sistemas de observación climática como la observación satelital del clima, así como al rápido incremento en la cantidad de datos meteorológicos. Así pues, los modelos convencionales de inteligencia computacional no son idóneos para prever con exactitud el clima. De esa manera, se utilizan técnicas basadas en el aprendizaje profundo para manejar conjuntos de datos enormes que tienen la capacidad de aprender y realizar proyecciones de forma más eficaz basadas en datos anteriores.

En este artículo se describe y analiza las principales técnicas de aprendizaje profundo aplicadas a la predicción meteorológica, siendo el objetivo evaluar su efectividad para la mejora de la resolución espacial y temporal de las predicciones meteorológicas. Se explican algunos que otros tipos de predicciones meteorológicas. Se exponen los objetivos trazados, se revisan y analizan los trabajos más importantes junto con aportes de otros autores sobre el tema, el estudio se justifica con el fin de contar con pronósticos exactos a nivel local, buscando ofrecer una perspectiva completa de la capacidad de nuevas herramientas en la mejora de la predicción meteorológica, para lograr una mejor toma de decisiones y adaptarse a las condiciones del clima.

## Tipos de Predicciones Meteorológicas

1. **Método Climatológico:** Este procedimiento ofrece un procedimiento para crear una predicción climática. Después de analizar los datos climáticos acumulados durante muchos años y realizar proyecciones, los meteorólogos emplean este procedimiento. [5]
2. **Método de Persistencia y Tendencia:** La persistencia y la inclinación demandan menos conocimientos para anticipar el tiempo, ya que se basan en tendencias anteriores. En todo el mundo, el tiempo es inalterable, al igual que la predicción climática para el día de hoy. Esto solo implica mantenerse actualizado sobre las temperaturas presentes y entender las condiciones climáticas de la región. [5]
3. **Mirando al Cielo:** Si bien es algo que puede sonar muy simple, este tipo de predicción ha ayudado a muchas personas durante largos años. Cuando observas el cielo, puedes establecer el tiempo observando el sol o la luna, o si observas nubes de gran altura. Si las nieblas han nublado, existe la posibilidad de que se genere un clima desagradable en un corto periodo. Para determinar cuándo la tempestad se aproxima, verifica si las nubes se desplazan o no. [5]

4. **Nowcasting:** Las proyecciones climáticas para las seis horas venideras se conocen frecuentemente como nowcasting. En este momento, se puede anticipar elementos pequeños, como tormentas individuales, con la exactitud necesaria, al igual que otras cosas que son demasiado pequeñas para que un ordenador pueda tratarlas.
5. **Use of Forecasting Models:** Los predictores humanos tenían la tarea de generar todo el tiempo que reflejaba los datos existentes. Actualmente, la información humana a menudo se restringe a la elección de modelos basándose en diversos límites, como la discriminación y el desempeño de los mismos. Emplea la concordancia de los modelos climáticos, junto con la inclusión de integrantes de una extensa variedad de especies, puede contribuir a reducir los errores ambientales. En cualquier situación, sin importar la sencillez del error en cualquier sistema individual, pueden surgir fallos significativos en cualquier corrección direccional particular en cualquier funcionamiento del modelo proporcionado. Las personas pueden emplear información acerca de resultados locales, que podrían ser muy reducidos en tamaño para ser resueltos por un modelo para su solución.

## Materiales y métodos

En el presente trabajo, se realizó una revisión exhaustiva de la literatura existente sobre el uso de técnicas de aprendizaje profundo aplicadas a la predicción meteorológica. La metodología empleada incluyó las siguientes etapas:

1. **Selección de fuentes:** Se consultaron bases de datos académicas como IEEE Xplore, ScienceDirect, SpringerLink y Google Scholar para identificar artículos, revisiones y proyectos relevantes. Los criterios de búsqueda incluyeron palabras clave como "deep learning", "weather forecasting", "CNN", "GAN", y "downscaling".
2. **Criterios de inclusión y exclusión:** Se seleccionaron trabajos publicados entre 2015 y 2024 que abordaron el uso de redes neuronales en la mejora de predicciones climáticas, priorizando aquellos que reportan resultados cuantitativos sobre la eficacia de los métodos aplicados.
3. **Análisis comparativo:** Los artículos seleccionados fueron analizados y categorizados según las técnicas empleadas, la calidad de los resultados obtenidos, y las limitaciones identificadas por los autores.
4. **Estudio de casos:** Se revisaron proyectos como VALUE (Validating and Understanding Local-scale Environments) y el uso de la librería DL4DS (Deep Learning for Downscaling) para evaluar su aplicabilidad en diferentes contextos.

5. **Herramientas utilizadas:** Se emplearon herramientas computacionales como Python y librerías especializadas (TensorFlow, PyTorch y DL4DS) para analizar la estructura de los modelos y comprender su funcionamiento.

Esta metodología permitió recopilar información actualizada y relevante, identificando las principales ventajas y limitaciones de las técnicas estudiadas.

## Técnicas y herramientas

1. **Downscaling:** El downscaling es un proceso utilizado para traducir proyecciones climáticas globales generadas por Modelos de Circulación General (MCG) a predicciones más detalladas y específicas a nivel regional o local. Existen dos tipos principales de downscaling: el dinámico, que utiliza modelos de alta resolución basados en leyes físicas, y el estadístico, que establece relaciones empíricas entre variables de gran escala y características locales. Este enfoque es crucial porque los MCG no capturan adecuadamente los fenómenos locales debido a su resolución limitada, lo que puede resultar en pronósticos menos precisos para regiones específicas [6]. Esto es crucial porque los MCG no capturan adecuadamente los fenómenos locales debido a su resolución limitada, lo que puede resultar en pronósticos menos precisos para regiones específicas [6]. Este enfoque es crucial para superar las limitaciones inherentes de los modelos globales que no capturan adecuadamente los fenómenos locales. Existen dos tipos principales de downscaling:
  - a) **Downscaling dinámico:** Utiliza modelos de alta resolución que incorporan leyes físicas para generar proyecciones detalladas. Se contemplan dos técnicas dinámicas de disminución de escala, que conllevan la utilización de la temperatura superficial o la lluvia simulada en el punto de cuadrícula más próximo en un modelo de circulación general (GCM) de aproximadamente 300 km de resolución, y un modelo climático regional (RCM) de 50 km anidado dentro del GCM.. [7]
  - b) **Downscaling estadístico:** Establece relaciones empíricas entre variables climáticas de gran escala y características locales, y es aquí donde técnicas como redes neuronales y aprendizaje profundo tienen un impacto significativo. El enfoque estadístico (STAT) se fundamenta en las relaciones lineales de regresión detectadas entre la temperatura superficial o la lluvia y un espectro de variables predictivas del clima. [7]
2. **Redes Neuronales Convolucionales (CNN):** Las Redes Neuronales Convolucionales (CNN, por sus siglas en inglés) son un tipo de red neuronal diseñada para procesar datos con estructuras de tipo rejilla, como imágenes o mapas climáticos [4]. Por ejemplo, un estudio reciente demostró que las CNN pueden mejorar significativamente la predicción de precipitaciones al capturar patrones espaciales complejos en datos climáticos históricos, permitiendo identificar fenómenos locales con mayor precisión [6]. Su principal

característica es la capacidad de extraer patrones espaciales mediante operaciones de convolución, lo que las hace ideales para mejorar la resolución espacial y temporal en la predicción meteorológica. Las CNN han demostrado su eficacia en la identificación de patrones complejos en grandes volúmenes de datos climáticos, facilitando predicciones más precisas y detalladas. En la predicción meteorológica, las CNN ayudan a reducir la pérdida de información durante el procesamiento, permitiendo un análisis más detallado de fenómenos atmosféricos específicos. [2]

3. **Redes Generativas Adversariales (GAN):** Las Redes Generativas Adversariales (GAN) son un enfoque innovador que consta de dos redes neuronales: una generadora y una discriminadora, que trabajan en conjunto para crear datos sintéticos altamente realistas [8]. En el contexto de la meteorología, las GAN se utilizan para generar datos climáticos que complementen conjuntos de datos insuficientes o para simular eventos extremos. Este enfoque ha sido especialmente útil para mejorar la representación de fenómenos locales y la resolución de los modelos climáticos, proporcionando una base de datos más robusta para la predicción de eventos meteorológicos complejos. Una investigación [9] centrada en la aplicación de una Red Generativa Adversaria, se enfocó en el uso de esta red para la predicción del clima meteorológico en EUROPA, entrenando simultáneamente el modelo con datos históricos durante 4 años (2015-2018) para su adecuada predicción. La investigación señala que los pronósticos demostraron un acuerdo cualitativo y cuantitativo adecuado con los datos reales proporcionados, además de que se evidencia que el modelo en relación a datos globales tiende a fallar más, pero cuando se presentan datos más específicos se logran mejores resultados.
4. **Librería DL4DS:** DL4DS (Deep Learning for Downscaling) es una librería de Python diseñada específicamente para aplicar algoritmos de aprendizaje profundo en el downscaling de datos climáticos [7]. Por ejemplo, en un estudio realizado en Europa, se utilizó DL4DS para mejorar la resolución de las predicciones de precipitaciones diarias, lo que resultó en una reducción significativa de errores al comparar con datos observados locales. Esta herramienta permite a los investigadores implementar modelos avanzados de manera eficiente, integrando funciones preconfiguradas para la mejora de la resolución espacial y temporal. DL4DS ha sido utilizada en diversos estudios para evaluar su impacto en la predicción climática a nivel local. Su uso facilita la aplicación de técnicas complejas sin la necesidad de construir modelos desde cero, lo que optimiza los recursos y acelera el análisis.

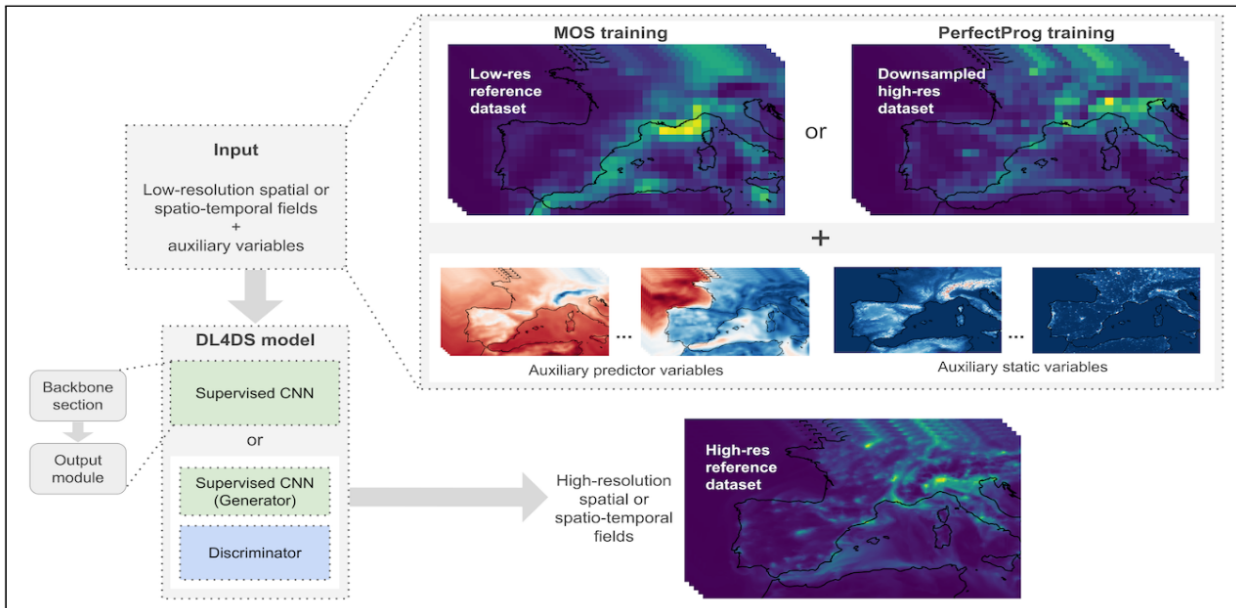


Figura 1. Arquitectura general de DL4DS. Se representa como se puede convertir un conjunto de datos de baja resolución en uno de alta resolución.

5. **TensorFlow:** TensorFlow es una plataforma de código abierto desarrollada por Google que permite construir y entrenar modelos de aprendizaje profundo de manera eficiente. En la predicción meteorológica, TensorFlow se utiliza para implementar redes neuronales avanzadas que analizan grandes volúmenes de datos climáticos, facilitando el desarrollo de modelos escalables y de alta precisión.
6. **PyTorch:** PyTorch, desarrollado por Facebook, es otra librería de aprendizaje profundo ampliamente utilizada debido a su flexibilidad y capacidad para realizar cálculos dinámicos. En el campo meteorológico, PyTorch se emplea para construir y optimizar redes neuronales complejas, incluyendo las mencionadas CNN y GAN, proporcionando herramientas para ajustar modelos de manera más intuitiva.
7. **Validación y Estudio de Entornos a Escala Local (Proyecto VALUE):** El proyecto VALUE (Validating and Understanding Local-scale Environments) se centra en la validación y comparación de métodos de downscaling estadístico en Europa [3]. Sus resultados han influido significativamente en la adaptación de estas metodologías para su aplicación en otras regiones, proporcionando un marco para estandarizar y mejorar las técnicas de predicción climática a nivel global. Este proyecto ha proporcionado un marco integral para evaluar cómo diferentes enfoques de reducción de escala, incluidos los basados en aprendizaje profundo, pueden mejorar la precisión de las predicciones climáticas regionales. VALUE ha

sido clave en la estandarización de técnicas y en la promoción de prácticas replicables en la investigación climática, ofreciendo una referencia confiable para el desarrollo de modelos en otras regiones del mundo.

## Resultados y discusión

1. **Eficacia de las Redes Neuronales Convolucionales (CNN):** Las CNN han demostrado ser altamente efectivas en la mejora de la resolución espacial y temporal de los datos meteorológicos. Estudios como el de Stengel et al. [6] reportaron aumentos significativos en la precisión de los pronósticos al aplicar CNN al downscaling de datos climáticos. El estudio reciente de Jhonatan et al [10] demuestra que las redes neuronales convolucionales las cuales estan basadas en datos son mucho mas rapidas y eficaces a diferencia de otros modelos para la prediccion del clima, sugiriendo que el aprendizaje automático podría convertirse en un recurso útil para la predicción de grandes conjuntos. Estas redes optimizan la extracción de patrones espaciales, lo que resulta en un análisis más detallado de fenómenos locales.
2. **Aplicación de Redes Generativas Adversariales (GAN):** Las GAN han sido útiles para generar datos sintéticos que complementen conjuntos de datos existentes, mejorando la representación de fenómenos locales. Por ejemplo, el trabajo de Weyn et al. [11] destaca el uso de GAN para simular eventos meteorológicos extremos, permitiendo una mejor planificación frente a condiciones adversas.
3. **Integración de herramientas especializadas:** Librerías como DL4DS han facilitado la implementación de algoritmos avanzados de aprendizaje profundo, permitiendo realizar pruebas rápidas y eficientes en diferentes contextos geográficos y climáticos. Su integración reduce la complejidad técnica y acelera el proceso de experimentación.
4. **Limitaciones identificadas:** A pesar de los avances, persisten retos relacionados con el costo computacional y la interpretabilidad de los modelos. Además, la falta de estandarización en los datos de entrenamiento puede influir negativamente en la precisión de los resultados.

## Conclusiones

*A partir del análisis realizado, se concluye que:*

1. **Impacto positivo del aprendizaje profundo:** Las técnicas de aprendizaje profundo, particularmente las CNN y las GAN, han transformado el campo de la predicción meteorológica, permitiendo superar las limitaciones de los métodos numéricos tradicionales.
2. **Avances en la resolución local:** La aplicación de métodos de downscaling asistidos por aprendizaje

profundo ha mejorado significativamente la precisión de los pronósticos a nivel local, lo cual es crucial para la toma de decisiones en sectores como la agricultura y la gestión de desastres.

3. **Retos pendientes:** Persiste la necesidad de abordar limitaciones como el alto costo computacional y la interpretabilidad de los modelos, así como de desarrollar estándares para el manejo de datos climáticos.

a) **Futuras líneas de investigación:** Se sugiere explorar la integración de modelos de aprendizaje profundo con enfoques híbridos que combinen técnicas tradicionales y modernas para mejorar aún más la capacidad predictiva.

## Contribución de Autoría

Jose Luis Gutierrez Diaz: [Conceptualización](#), [Investigación](#), [Redacción - borrador original](#). Kevin Parimango Gómez: [Metodología](#), [Software](#). Marcelino Torres Villanueva: [Supervisión](#), [Escritura, revisión y edición](#).

## Referencias

- [1] CEUPE, “Meteorología: qué es y su importancia,” <https://www.ceupe.com/blog/meteorologia-que-es-y-su-importancia.html>, n.d., accedido: 09-dic-2024.
- [2] H. S. Walia and M. Mahajan, “Automatic feature learning using neuro-fuzzy systems: a survey,” *Pattern Analysis and Applications*, vol. 23, no. 2, pp. 451–471, 2020. [Online]. Available: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10044-020-00898-1>
- [3] J. M. Viñas Rubio, “Origen y desarrollos actuales de la predicción meteorológica,” *EM*, vol. 45, no. 2, pp. 1–20, n.d., accedido: 09-dic-2024.
- [4] K. U. Jaseena and B. C. Kovoov, “Deterministic weather forecasting models based on intelligent predictors: A survey,” *J. King Saud Univ. - Comput. Inf. Sci.*, 2020.
- [5] Anonymous, “A survey of weather forecasting based on machine learning and deep learning techniques,” *Int. J. Emerg. Trends Eng. Res.*, vol. 9, no. 7, pp. 988–993, 2021.
- [6] P. Bauer, A. Thorpe, and G. Brunet, “The quiet revolution of numerical weather prediction,” *Nature*, vol. 525, no. 7567, pp. 47–55, 2015.
- [7] J. Murphy, “Predictions of climate change over europe using statistical and dynamical downscaling techniques,” *Int. J. Climatol.*, vol. 20, no. 5, pp. 489–501, 2000.

- [8] K. Stengel, A. Glaws, D. Hettinger, and R. N. King, “Adversarial super-resolution of climatological wind and solar data,” *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 117, no. 29, pp. 16 805–16 815, 2020.
- [9] A. Bihlo, “A generative adversarial network approach to (ensemble) weather prediction,” *Neural Netw.*, vol. 139, pp. 1–16, 2021.
- [10] J. A. Weyn, D. R. Durran, and R. Caruana, “Improving data-driven global weather prediction using deep convolutional neural networks on a cubed sphere,” *J. Advances Model. Earth Syst.*, vol. 12, no. 9, 2020.
- [11] P. Lynch, “The origins of computer weather prediction and climate modeling,” *Journal of Computational Physics*, vol. 227, no. 7, pp. 3431–3444, 2008.



Tipo de artículo: Artículos originales  
Temática: Redes y seguridad informática  
Recibido: 21/02/2025 | Aceptado: 21/03/2025 | Publicado: 30/09/2025

Identificadores persistentes:  
DOI: [10.48168/innosoft.s24.a317](https://doi.org/10.48168/innosoft.s24.a317)  
ARK: [ark:/42411/s24.a317](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:org:ark:42411/s24.a317)  
PURL: [42411/s24.a317](https://purl.org/42411/s24.a317)

# A Case Study of the Salsa20 Encryption Algorithm Using Random Noisy Injection Enhanced by Artificial Intelligence

## *A Case Study of the Salsa20 Encryption Algorithm Using Random Noisy Injection Enhanced by Artificial Intelligence*

Edgar Rangel Lugo<sup>1</sup>[\[0000-0002-9611-8323\]](mailto:erangel_lugo@hotmail.com)<sup>\*</sup>, Kevin Uriel Rangel Ríos<sup>2</sup>[\[0009-0001-7029-7183\]](mailto:kgvppro@gmail.com), Carlos Alberto Bernal Beltrán<sup>3</sup>[\[0009-0009-3244-8268\]](mailto:carlosalberto.bb@cdaltamirano.tecnm.mx), Leonel González Vidales<sup>4</sup>[\[0000-0002-2623-7626\]](mailto:leonel.gv@cdaltamirano.tecnm.mx), César Del Ángel Rodríguez Torres<sup>5</sup>[\[0000-0001-9198-4372\]](mailto:cesardelangel.rt@cdaltamirano.tecnm.mx), Lucero De Jesús Ascencio Antúnez<sup>6</sup>[\[0009-0008-0923-4707\]](mailto:lucerodejesus.aa@cdaltamirano.tecnm.mx), Rosa Isabel Reynoso Andrés<sup>7</sup>[\[0009-0001-8896-8328\]](mailto:rosaisabel.ra@cdaltamirano.tecnm.mx)

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México. I.T. de Ciudad Altamirano. Av. Pungarabato Ote. S/N, Col. Morelos, Ciudad Altamirano, Guerrero, México. [erangel\\_lugo@hotmail.com](mailto:erangel_lugo@hotmail.com)

<sup>2</sup>Tecnológico Nacional de México. I.T. de Ciudad Altamirano. Av. Pungarabato Ote. S/N, Col. Morelos, Ciudad Altamirano, Guerrero, México. [kgvppro@gmail.com](mailto:kgvppro@gmail.com)

<sup>3</sup>Tecnológico Nacional de México. I.T. de Ciudad Altamirano. Av. Pungarabato Ote. S/N, Col. Morelos, Ciudad Altamirano, Guerrero, México. [carlosalberto.bb@cdaltamirano.tecnm.mx](mailto:carlosalberto.bb@cdaltamirano.tecnm.mx)

<sup>4</sup>Tecnológico Nacional de México. I.T. de Ciudad Altamirano. Av. Pungarabato Ote. S/N, Col. Morelos, Ciudad Altamirano, Guerrero, México. [leonel.gv@cdaltamirano.tecnm.mx](mailto:leonel.gv@cdaltamirano.tecnm.mx)

<sup>5</sup>Tecnológico Nacional de México. I.T. de Ciudad Altamirano. Av. Pungarabato Ote. S/N, Col. Morelos, Ciudad Altamirano, Guerrero, México. [cesardelangel.rt@cdaltamirano.tecnm.mx](mailto:cesardelangel.rt@cdaltamirano.tecnm.mx)

<sup>6</sup>Tecnológico Nacional de México. I.T. de Ciudad Altamirano. Av. Pungarabato Ote. S/N, Col. Morelos, Ciudad Altamirano, Guerrero, México. [lucerodejesus.aa@cdaltamirano.tecnm.mx](mailto:lucerodejesus.aa@cdaltamirano.tecnm.mx)

<sup>7</sup>Tecnológico Nacional de México. I.T. de Ciudad Altamirano. Av. Pungarabato Ote. S/N, Col. Morelos, Ciudad Altamirano, Guerrero, México. [rosaisabel.ra@cdaltamirano.tecnm.mx](mailto:rosaisabel.ra@cdaltamirano.tecnm.mx)

\*Autor para correspondencia: [erangel\\_lugo@hotmail.com](mailto:erangel_lugo@hotmail.com)

---

## Resumen

La pérdida o robo digital de datos, puede generar severas consecuencias financieras para las organizaciones. Dicha situación puede ser manejada utilizando métodos de cifrado dinámicos, los cuales, son capaces de generar diferentes textos cifrados partiendo de una misma entrada de texto plano. La presente investigación, involucra el uso de inteligencia artificial (IA), aplicado a la ciberseguridad, a través del uso de estrategias: "aleatorias ruidosas" (random noisy), siendo estudiados varios aspectos relacionados en dicho campo. La aplicación de estos esquemas: random noisy, sobre el texto cifrado, es recomendado como medida para mejorar la seguridad de los datos digitales. Estudios recientes refieren que ello puede ser efectivo para contrarrestar posibles ciberataques. Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue enfocado sobre la aplicación de una nueva propuesta basada en estrategia: random noisy, siendo aplicada a textos cifrados obtenidos por el algoritmo Salsa20, debido a que, ha sido poco estudiado en la literatura. Lo anterior, sustentado en que las estrategias "aleatorias ruidosas", han revelado resultados muy prometedores, en previas investigaciones. El presente trabajo, se considera importante, debido a que, los resultados experimentales han recomendado la efectividad del uso de IA, aplicado

en la inyección de ruido a textos cifrados, mostrando incremento en el esquema de seguridad de los datos digitales encriptados. Por lo tanto, es presentada aquí una nueva metodología mejorada, para las organizaciones que utilizan cifrado de datos con el algoritmo Salsa20, así como, la comparación de resultados con cuatro random noisy. estrategias, basadas sobre el cifrado con los algoritmos: DES, 3DES, AES-256, y Blowfish. En conclusión, la nueva alternativa, aquí presentada, es recomendada porque mostró ser de difícil descifrado, incluso para las herramientas estándar de los ciber-criminales.

**Palabras claves:** Aplicaciones de IA, criptografía, cifrado de datos dinámico, cifrado con inyección de ruido.

### Abstract

*The loss of digital data can have severe financial consequences for organisations. This situation can handle with a dynamic encryption approach, which it can generate multiple ciphertexts from a single plaintext. This paper delves into the intersection of artificial intelligence, random noisy schemes, and cybersecurity, analyzing several critical aspects of this emerging field. The application of random noisy scheme to ciphertext, it has been suggested as a means of enhancing cybersecurity, with recent studies indicating that this approach can be effective against cybercriminals. The objective of this research was focused on applying random noisy strategy on ciphertext of the Salsa20 encryption algorithm, as this area remains unexplored. Given the promising results of random noisy strategies, organisations that they employ Salsa20 may benefit from this approach. This research is important because recent experiments have revealed the effectiveness of using artificial intelligence for noisy injection on ciphertext. Therefore, is here presented a new opportunity for organisations regarding the employment of the novel random noisy Salsa20 encryption alternative because the experimental results have shown an increasing of the dynamic performance on ciphertext. This work introduces the random noisy Salsa20 strategy as a novel dynamic encryption alternative, and comparison of the performance to four random noisy schemes based on DES, 3DES, AES-256, and Blowfish algorithms. In conclusion, the novel alternative that it is here recommended, it can be difficult for the cybercriminals to decrypt.*

**Keywords:** Applications of AI, cryptography, dynamic encryption methods, noisy injection strategies.

---

## Introduction

A cybersecurity strategy [1–3], it is deemed insufficient if even one of its methods is susceptible to cyberattacks [4–8], which can lead to the theft of sensitive digital data [8, 9]. In practical applications, this can result in substantial financial losses for organisations [4, 5, 8, 10, 11]. These cases [12–17] typically involve cyber threats such as phishing, fraudulent calls, and financial scams, impacting social networking platforms, bank systems, large markets, energy networks, and e-commerce in organisations [4, 5]. Several approaches have been proposed to tackle the issue of digital data theft. These can be broadly categorised into three main strategies: Firstly, regularly updating cybersecurity strategies [4]. Secondly, utilising dynamic encryption methods [5]. Thirdly, employing noisy injection strategies on ciphertext [5–7, 9, 10], which they have shown promise in certain practical domains. This study focuses on encryption methods [8], that they utilise noisy injection strategies [5–7]. These methods involve computing statistics or mathematical equations to transform plaintext ( $S_i$ ) into ciphertext ( $C_i$ ) [8], which can only be deciphered by authorised individuals or systems [10, 11]. The  $S_i$  represents the original input data, while the  $C_i$  is the encrypted output. An encryption method is dynamic if it produces unique results with the same plaintext data input each time, whereas static encryption methods produce the

same output [8]. Symmetric encryption algorithms, they use a single secret key, while asymmetric encryption algorithms use a pair of keys, one private and one public [8]. Data encryption refers to the conversion of plaintext into ciphertext, whereas data decryption is the reverse process [8–10, 14, 18]. Asymmetric algorithms like RSA (Rivest-Shamir-Adleman) [3, 5, 6, 8, 13, 14, 19–27], ECC [5, 6, 8, 19–23, 28–31], and ElGamal [13, 19–21], they use asymmetric key cryptography, which involves a pair of keys - private and public. Dynamic encryption has shown promising results in recent research [5, 8, 11], when applied to asymmetric algorithms. Since asymmetric algorithms are not within the scope of this work, they are not examined here and could be considered for future works. There are also various symmetric key cryptography algorithms, such as DES (Data Encryption Standard) [3, 13, 14, 22, 23, 27, 32, 33], 3DES or TripleDES (Triple Data Encryption Standard) [14, 21–23, 34], Blowfish [22, 23, 35–38], Salsa20 [38, 39], and AES (Advanced Encryption Standard) [13, 21–23, 26, 27, 40, 41], to mention a few. In this research, the AES-256 version [38, 40, 41], it has been employed. In reference [22], it is noted that AES is a symmetric block cipher that can operate with different block sizes and supports key lengths of 128, 192, and 256 bits. DES processes 64 bits of plaintext to produce 64 bits of ciphertext, using a series of substitution and permutation rounds, and decryption is achieved by reversing the encryption process. Due to the limited key size of 64 bits, DES is considered insecure for modern standards. To improve security, 3DES was developed as a more robust alternative. Another symmetric algorithm, Blowfish, employs a variable-length block cipher with key lengths spanning from 32 to 448 bits [22, 23]. Although Blowfish is versatile, it is often used with a block size of 64 bits. Regarding the symmetric algorithm Salsa20 [39], it is ChaCha20's predecessor. Both algorithms are not block-cipher because they work with keystream generation. According to [39], Salsa20 is addition/rotation/XOR (ARX)-based cryptographic primitive. Their keystream generation algorithm comprises three simple operations: Addition modulo  $2^{32}$  ( $\boxplus$ ), constant distance left bit rotation ( $n$ ), and bitwise XOR operation. These operations are swift in any circuit, and hence the cipher can achieve significant speed with a high security margin. The Salsa20 cipher takes a 256-bit key ( $k$ ), a 128-bit constant ( $c$ ), and a 128-bit initial vector ( $v$ ), or IV, and generates a 512-bit keystream. The key is divided into eight 32-bit words ( $k_0, k_1, \dots, k_7$ ). Similarly, the constant and the IV are also broken into 32-bit words ( $c_0, c_1, c_2, c_3$ ) and ( $v_0, v_1, t_0, t_1$ ). Due to the use of the 256-bit key, the cipher is also called 256-bit Salsa20. In the original Salsa20 cipher, the number of rounds is 20. After the final round, the initial state  $X$  is added modulo ( $2^{32}$ ) to the updated state  $X^{20}$  word-by-word, and the keystream ( $Z$ ) of 512 bits is achieved, that is,  $Z = X \boxplus X^{20}$ . This keystream is then bitwise XORed to plaintext to get the ciphertext. Besides, the Salsa20 scheme, it is commonly generated a 512-bit keystream. This proposal is appealing for encryption due to its high speed and security. Due to their efficient algorithm and fast performance, it has been attracted by cryptographic analysis since their release [39]. Some research [5, 8], they have revealed that symmetric encryption algorithms, they have reported static ciphertext results. Despite that it does not mean, in all cases that they are vulnerable schemes [5]. However, there exists some standard encryption alternatives that they have been threatened by quantum computing [8, 22, 23, 42]. In contrast to some views, other researchers [43–45], they emphasize that the AES and

RSA algorithms are at risk due to advancements in quantum computing [8,22,42]. This paper investigates several facets of this issue and, without using quantum computing, proposes measures that can be applied to symmetric algorithm variants to improve their security [5]. For example, as pointed out by some authors [4–11], the dynamic encryption methodologies, they offer a good alternative to increasing noisy and redundant information in ciphertext outputs [5,9,10]. Moreover, the employment of noisy injection strategies [5–7], they are recommended as good encryption measure. The noisy injection means that a plaintext or ciphertext contains some additional characters of the ASCII or UTF-8 encoding, which they are not part of the original input message [8]. A key hypothesis of this research is that these strategies can create confusion for cybercriminals, as indicated in [5,8]. These strategies [5–7], frequently utilize artificial intelligence (AI) [5–8,10,11,46,47], as AI-based cryptography [1–4,8,10,11,16,17,24,48–50], it is a well-established field. According to [10,46,47], the purpose of AI is to enable machines to think [8]. In this context, various approaches like heuristic methods [5,8,10], they have been proposed, which involve predefined rules to solve problems. These can be applied to implement structured models such as decision trees [51–53] and graphs [53–55], among others. Moreover, there exists alternatives with AI based on random methods [10,56–59], it consists in the selection of random numbers without replacement or with replacement (i.e., it does not repeat or it repeats values, respectively) [8]. These methodologies can be employed with intelligent models such as genetic algorithms (GAs) [1,2,9,10,16,17,56,59–62], Monte Carlo (MC1) algorithm [59], artificial neural networks [57,63,64], to mention few. Several authors have explored AI-based cryptography alternatives [1–4,8,10,11,14,16,17,24,27,48–50,60–62]. For a comprehensive review of AI applications in cryptography, see [50]. In [48], it is analyzed trends and challenges, while in [3], it focuses on asymmetric and symmetric cryptographic methods. In [58], a study on pairing functions for AI-driven cryptography was conducted. Subsequently, the same author [16], he published a novel investigation on GAs in cryptography, specifically contributing to the field of e-commerce. In addition, to existing research, in [24] reports on an improved cryptanalysis of RSA using side-channel attacks. Meanwhile, reference [49], it employs a new approach to collision attacks through differentiated path construction. In line with established research practices, genetic algorithms for cryptography have been explored in [1,62]. Similarly, in [60], it introduces modern optimization algorithms designed for cryptanalysis. On the flip side, reference [61], it reveals that genetic algorithms can successfully break certain simple cryptographic ciphers. In a similar vein, it is examined in [27], the application of genetic operators to symmetric cryptography using GAs. Moreover, in [49], it is introduced a quantum cryptanalysis technique for lattice-based protocols. Concerning the noisy injection strategies [4–11], there exists several alternatives that they can be grouped in several categories. Initially, pseudo-hexadecimal format is utilized. The “Noised” random pseudo-hexadecimal GAs methodology, in particular, it has been discussed in references [9,10]. A dynamic encryption scheme based on genetic algorithms was proposed. However, because of the disadvantages associated with pseudo-hexadecimal GAs, a successor methodology, “Noised” random pseudo-hexadecimal (without GAs), it was presented in [10]. Later, in [8], it presented four dynamic alternatives based on the pseudo-hexadecimal schema, known as «noisy random pseudo-hexadecimal» strategies.

The goal of these strategies is to confuse cybercriminals by injecting noise into ASCII characters when utilizing a novel pseudo-hexadecimal format. These schemes are limited to plaintext applications. The second approach involves combining AI-based noisy injection with the 1-NN rule, as discussed by other research [46,47,65–67]. In this regard, the ‘Noised’ random 1-NN with hexadecimal encoding based on AI was introduced in [11]. Similarly, the combination of “Noised” random pseudo-hexadecimal format with 1-NN was explored in [68]. These two approaches have shown that implementing double noisy injection over ciphertext outputs can improve data safety, though it requires sacrificing some disk storage space. These approaches were also used with plaintext. The pseudo-hexadecimal scheme, it was not examined in this paper, but it might be addressed in future works. Thirdly, the random Caesar II mod 120 [4–7, 11], it is utilized for noisy injection, applied to both plaintext [4, 5, 11], and ciphertext [5–7], which it was obtained through standard encryption algorithms. This method is referred to as the random noisy strategy [5–7]. Reference [5], it highlights that the random Caesar proposal, based on the traditional Caesar algorithm [4, 9, 13, 14], stands out due to its dynamic encryption with AI, utilizing heuristic methods. While the traditional Caesar cipher relies on a fixed shifting value  $K$ , as expressed in  $C_i = S_i + K \pmod{26}$  [13, 14], the random Caesar utilizes varying shifting values ( $K_i$ ) for each character  $S_i$ , chosen randomly with replacement. The operation:  $C_i = S_i + K_i \pmod{N}$ , it allows random Caesar to adapt to different  $N$  values. In the case of the traditional Caesar cipher with  $\pmod{26}$ , the alphabet is restricted to 26 characters for encryption and decryption purposes. While the  $\pmod{N}$  in random Caesar, it can be dynamic, recent studies [4, 6, 9, 11], they have focused on three specific modes: random Caesar I with  $\pmod{9}$  and  $\pmod{255}$  [6], random Caesar II with  $\pmod{95}$  [4, 9, 11], and random Caesar II with  $\pmod{120}$  [4–7]. The selection of alphabets in these schemes is defined by random conditions, and a heuristic method is applied to find the most effective  $K_i$  vector. Here, the  $\pmod{N}$  value indicates the size of the encryption alphabet and the maximum value that can be present in the  $K_i$  vector. With  $N = 95$ , ASCII characters from space (32) to ‘~’(126) are used.  $N = 120$  covers a range from 30 to 150 in the ASCII table. For different  $N$  values,  $K_i$  falls between 0 and  $N$ . The random Caesar scheme’s procedure includes a second phase intended to confuse potential attackers [4]. This phase calculates the final package as  $FinalPackage = C_i \& K_i \& OrdChr(C_i)$  [5]. The  $\&$  operator indicates concatenation, and the  $OrdChr$  procedure either appends the character  $C_i$  when  $N = 120$  or converts it to an ordinal value depending on the mode. This method is limited to plaintext encryption as a dynamic strategy [4], while random Caesar II mod 120 has been employed in some studies [5–7], as a means of introducing randomness. Reference [5], it presents eight alternatives that integrate random noise with standard encryption algorithms: random noisy DES, random noisy 3DES, random noisy RC4, random noisy Blowfish, random noisy WEP, random noisy AES, random noisy RSA-2048, and random noisy ECIES SECP-256-R1. The approach integrates standard encryption techniques with random Caesar II mod 120 for noisy injection. Similarly, the concept of random noisy GOST was explored in [6], and the random noisy Camellia was highlighted in [7]. Some variants of random noisy strategies [4], they focus on noisy injection and they were designed to camouflage ciphertext [5]. Notable

examples are reduced random Caesar [4,5], and reduced random mutation [4]. According to [4], the primary purpose of these schemes is to camouflage and reduce the size of at least 1/3 of the ciphertext. The reduced random Caesar strategy has been applied to both plaintext [4], and ciphertext [5], whereas the reduced random mutation [4], it has been used exclusively with plaintext. These reduced random and mutation strategies, they were not here experimented because it can be considered in future works. We assessed four random noisy strategies that they utilize standard symmetric encryption algorithms, including random noisy DES, random noisy 3DES, random noisy AES-256, and random noisy Blowfish. Due to that novel alternative, named here as random noisy Salsa20, it was developed and it is introduced in this study. The application of noisy injection with random noisy strategies [4–7], to plaintext [4], or ciphertext [5–7], they are recommended due to its strong correlation with dynamic encryption performance. There exists a lack of research on the vulnerabilities of these schemes when subjected to quantum computing [5,8]. Given that random noisy strategies have shown promise, this research continues the work of [5–7], by examining the Salsa20 encryption algorithm’s potential when applied to ciphertext, a gap in existing research that could benefit organizations employing Salsa20. This circumstance also allows organizations to consider employing noisy injection techniques derived from the Salsa20 scheme. This work explores the use of noisy random encryption in cybersecurity, specifically the technique of applying noisy injection to ciphertext from standard algorithms to potentially deceive cybercriminals [8]. The scope of this study was limited to two classes of situations. The initial step involved comparing five standard encryption algorithms (DES, 3DES, AES-256, Blowfish, and Salsa20) as static encryption schemes, with outcomes benchmarked against related research [5–7]. Furthermore, the random noisy Salsa20 scheme, it was developed to serve as a comparative benchmark for other random noisy strategies (random noisy DES, random noisy 3DES, random noisy AES-256, and random noisy Blowfish) in the context of noisy injection on ciphertext. This method uses random Caesar II mod 120 [4], being applied on ciphertext by standard encryption algorithms. The focus is on dynamic encryption as a means to achieve randomness in performance. It also makes an empirical contribution to cryptography using AI, as the literature on random noisy strategies is sparse. Despite that recent research [4,5,9–11], they have reported that random Caesar II [4], it might obtain random values for the ciphertext that they can be selected out of the range of the ASCII table [5]. In practical domains that they were evaluated with random noisy strategies [5], these problems have not been observed. The random noisy encryption strategies were previously assessed with five-fold cross-validation [5–7]. This work expresses their performance in terms of global average or accuracy [46,47,65,66]. We present the findings of an extensive research project investigating digital data theft, including experimental results. This study analyzed cases where inadequate static encryption methods were used, causing security concerns [5]. Initially, the experiments were focused on replacing of the static encryption schema for recommending the random noisy strategies as dynamic encryption alternative [4]. Several ciphertext exemplars resulting from random noisy encryption schemes are shown here. These approaches were evaluated over five samples when a novel modification of cross-validation [4,5,10], it has been employed. Based on observations, noisy injection over

ciphertext output is recommended due to its excellent performance as a dynamic encryption indicator. This paper concludes by introducing the random noisy Salsa20 strategy, a novel dynamic data encryption approach. In addition, the comparison of results with other four random noisy schemes based on DES, 3DES, AES-256, and Blowfish, algorithms, they are also introduced. Finally, this work is justified because the novel random noisy Salsa20 is rarely studied, thereby it has not revealed vulnerabilities in literature regarding to cyberattacks or quantum computing strategies.

## Computational methodology

The use of static encryption algorithms as a replacement for existing cybersecurity strategies does not ensure data protection for organizations. A dynamic encryption approach is suggested instead [4]. We evaluate several dynamic encryption approaches that utilize random noisy strategies [5], to address the issue of digital data theft. This research, it is considered experimental and exploratory. Due to that the novel alternative that it is based on random noisy Salsa20 scheme, it is here first introduced. This work required the use of hardware, software, and datasets. The experiments were conducted on a personal computer with a 2 GHz CPU, 4 GB of RAM, and 32 GB of free disk space. The software implementation of the encryption methods, including DES, 3DES, AES-256, Blowfish, and Salsa20, as well as the novel variants based on random noisy strategies [5], these experiments were carried out using Microsoft Windows 10 [69], and Python language [70]. To compare our results with those in [5–7], we repeated some experiments on a mobile computing device with the same hardware features as the personal computer mentioned above, but with Android 9 operating system [71], as well as the PyDroid3 app [72], for software development. Our experiments showed no significant differences. Our datasets were composed of training samples (TS) [6, 7, 46, 47, 65], which included 1000 randomly created exemplars. Each row in the dataset features a pattern with five columns or features. The data contains encryption and decryption details, including ciphertext ( $C_i$ ) represented as a pair of exemplars ( $Test1, Test2$ ), as well as metrics like encryption time ( $TC$ ), decryption time ( $TD$ ), error rate, and class label. The pattern format is  $TP = [(Test1, Test2), TC, TD, Error, Label]$ , which it allows for direct comparison with other studies [7]. In Table 1, we display two ciphertext exemplars for the label "#Welcome#?". The label feature corresponds to the plaintext ( $S_i$ ), which it is simulating a password and it includes noisy characters '#&' and '?' (with ordinal values 9619 and 65533, respectively). The encryption and decryption times, they were calculated in milliseconds, and the  $TC$ ,  $TD$ , and error features were represented as double precision values. The encryption strategy converts the plaintext sequence into a ciphertext result, represented as a tuple ( $Test1, Test2$ ), while  $TC$  is computed, allowing us to observe the dynamic nature of the encryption results. During decryption of the ciphertext sequence,  $TD$  was calculated. Both sequences are then stored in  $TS$ , including their respective  $TD, TC$ , and error rates, using a predefined structured pattern. The error rate was calculated based on the number of characters with errors. If the ciphertext obtained through the encryption strategy does not match the plaintext

( $S_i$ ), the error rate is determined by the proportion of  $S_i$  that contains errors. In these terms, if for a ciphertext of eight characters, its correspondent plaintext was also of eight characters, thereby an error value of 0.5, it means that four characters from  $Test1$  or  $Test2$ , they have not be decrypted properly, and so on. The ciphertext and plaintext are represented as sequences of characters using ASCII or UTF-8 encoding, and each sequence is limited to a maximum of 255 characters. The 3DES and Blowfish algorithms were exceptions, as they couldn't support sequences of 255 characters. Consequently, Blowfish was experimented with up to 13 characters, and 3DES with up to 22 characters. The encryption times being evaluated mean that the comparison of algorithms is not entirely on equal terms. To address this, the study experimented with ciphertexts filled with random hexadecimal values to provide a more equitable assessment. This information was utilized to transform it into a new format based on cross-validation modifications [4–7]. The updated  $TS$  format was then applied to each encryption strategy individually. To enhance result interpretation, thereby, the Table 1 presents the arithmetic mean and standard deviation for a plaintext with the value "#Welcome#?", which it has been processed using most encryption algorithms under identical conditions. Finally, separate  $TS$  were created for each encryption algorithm tested, including those with random noisy strategies.

First adopted strategy, it involves utilizing standard symmetric encryption algorithms, specifically DES, 3DES, AES-256, Blowfish, and Salsa20. They were experimented as static encryption schemes being applied over plaintext for results comparison with other research [5–7]. We carried out these experiments on five training samples containing the mentioned information, assessing each encryption algorithm individually through a modified cross-validation approach [4, 5]. These standard encryption algorithms were implemented in Python [70], utilizing libraries such as cryptography [73], pycryptodome [74, 75], and pycrypto/pycryptor, which they were installed as part of the process. Therefore, it needs to be imported into the source code as follows: *from cryptography.hazmat.primitives import padding ; from cryptography.hazmat.primitives.ciphers import Cipher, algorithms, modes ; from cryptography.hazmat.backends import default\_backend, from Crypto.Cipher import DES, and from Crypto.Cipher import Salsa20*. Thereby, it is assumed that  $S_i = \text{"#Welcome#?"}$ . Using the DES algorithm, the ciphertext can be computed according to the following operation:  $C_i = ((A(Key.encode(), Mode)).encrypt(p$   
In the case of ciphertext produced by the 3DES and Blowfish algorithms, the computation source-code is:  $C_i = (Ri.update(plaintext) + Ri.finalize()).hex(); print(Ci)$ . Similarly, the ciphertext for the AES-256 encryption alternative can be computed as follows:  $C_i = (IV.encode()+(Ri.update(plaintext)+Ri.finalize()).hex(); print(Ci)$ . The ciphertext generated using the Salsa20 algorithm is presented below:  $C_i = ((A(Key.encode(), Nonce.encode()))).en$   
Where, the  $A$  component refers to the used algorithm, while that the encoded  $Key$  parameter corresponds to the secret key. The  $IV$  value, it is the initialization vector. The  $Mode$  argument, it is a valid operation mode of the algorithm. The  $Nonce$  argument, it is a valid nonce value of the Salsa20 algorithm. The plaintext argument is the encoded  $S_i$ . The  $encrypt()$  procedure returns ciphertext object, which is a class component. The  $N$  value indicates the maximum number of bytes in a character sequence. The  $Ri$  com-

ponent represents a partial ciphertext object that is either unpadded or incomplete. The  $Q_i$  component denotes the padding used. The *updated()* and *finalize()* procedures allow for the completion of the encryption operation. In the end, the *hex()* function converts byte values to their corresponding hexadecimal representations. In these terms, some valid values for obtaining a ciphertext with DES algorithm, it can be computed as follows:  $Key = "00000001"; A = DES.new ; N = 8 ; Mode = DES.MODE\_ECB ; plaintext = Si.encode() + (b"x00"* (N-len(Si.encode()) \% N))$ . The valid parameters for computing ciphertext with the Blowfish algorithm can be obtained through:  $Key = "00000001"; A = algorithms.Blowfish ; N = 16; Mode = modes.ECB() ; Ri = Cipher(A(Key.encode()), Mode , default\_backend() ).encryptor() ; plaintext = ( Si + + str(.join( [ for k in range(0,int(N-len(Si.encode())) ] ) ) ).encode()$ . To produce ciphertext with 3DES, the valid values can be obtained through:  $Key = "000000000000000000000001"; A = algorithms.TripleDES ; N = 24 ; Mode = modes.ECB() ; Ri = Cipher(A(Key.encode()), Mode , default\_backend() ).encryptor() ; plaintext = ( Si + + str(.join( [ for k in range(0,int(N-len(Si.encode())) ] ) ) ).encode()$ . Similarly, the AES-256 encryption version requires the following valid parameters for ciphertext generation:  $Key = "0000000000000000000000000001"; A = algorithms.AES ; N = 256 ; IV= "0000000000000001"; Mode = modes.CBC(IV.encode()) ; Ri = Cipher(A(Key.encode()), Mode , default\_backend() ).encryptor() ; Qi = padding.PKCS7(N).padder() ; plaintext = Qi.update( Si.encode() ) + Qi.finalize()$ . For the Salsa20 algorithm, the valid parameters for ciphertext generation are:  $Key = "0000000000000000000000000001"; N = 32 ; Nonce = "00000001"; paintext = Si.encode() ; A = Salsa20.new ; Mode = None$ . Each of these statements needs to be included in the source code before invoking  $Ci$ , as applicable.

Second adopted strategy, it consists in application of random noisy alternatives [5], for dynamic data encryption. In [4], it is recommended because that these schemes can provide a good alternative for increasing the noise in ciphertext outputs. The strategies outlined in [5], they were applied to ciphertexts produced by standard encryption algorithms, specifically examining four cases: random noisy DES, random noisy 3DES, random noisy Blowfish, and random noisy AES-256. Due to that this study also introduces random noisy Salsa20 as a novel approach. We implemented the five random noisy strategies in Python [70], and they were tested using a noisy injection application that combines random Caesar II mod 120 with the ciphertext from each standard encryption algorithm. This allowed for a direct comparison with other studies [5–7]. Each encryption algorithm was evaluated separately on the five  $TS$  using an iterative process with five repetitions of cross-validation [4,5]. We applied modified cross-validation to calculate the global average and standard deviation for each encryption strategy. The novel proposals, as described in [5], involve noisy injection into ciphertext, and the procedure for computing random noisy strategies is detailed in [5–7]. We computed it as follows:  $RandomNoisy_i = Char(Ord(StandardEncryption_i) + Ord(K_i)) \& Char(K_i) \& Char(StandardEncryption_i)$ , with (mód 120). By replacing the plaintext with ciphertext, the operation was streamlined, as shown in [4]. The adjustment to (mód 120) is made because *FinalPackage*, or *RandomNoisy\_i*, only stores character types. As discussed

in [5], several versions of random noisy schemes have been explored. In this research, only four strategies for obtaining the *StandardEncryption* ciphertext, they have been employed as mentioned above. In the same way, the random noisy Salsa20, it was implemented and can be computed as follows:  $RandomNoisySalsai = Char(Ord(StandardSalsaEncryption) + Ord(Ki)) \& Char(Ki) \& Char(StandardSalsaEncryption)$  (mód 120). Where: The + operator refers to the sum function, while the & operator corresponds to the concatenation function. The  $Ki$  shifting vector, it contains random integer values. The *StandardEncryption* parameter, it refers to the ciphertext obtained using a standard encryption algorithm (e.g., DES, 3DES, Blowfish, and AES-256), as described in [5]. In a similar vein, the *StandardSalsaEncryption* argument refers to the ciphertext obtained through the Salsa20 algorithm. Each strategy was applied separately. The *RandomNoisy* sequence is the *FinalPackage* obtained through a random noisy strategy, as per [5]. In distinction, *RandomNoisySalsai* denotes the *FinalPackage* that results from employing random noisy Salsa20. The *Ord* function returns the ordinal value of a character or integer, and the *Char* function converts a value to its corresponding character representation in ASCII or UTF-8. In the random noisy proposals, a standard encryption algorithm is first used to encrypt the plaintext, and then random Caesar II mod 120 is applied to the ciphertext, adding an extra layer of security [5–7]. In [5], it emphasizes that this approach differs from double encryption and warns against the repeated application of standard encryption algorithms, which could be exploited by cybercriminals using computational strategies to decrypt the data. As noted in [5], noisy injection should be applied selectively to the ciphertext to prevent arousing suspicion about the noise's location. By applying it to only a portion of the ciphertext, cybercriminals would encounter the daunting task of identifying the location of noisy characters, a challenge that remains substantial even with the advent of quantum computing. These strategies involve the use of random Caesar II mod 120 [5], applied to ciphertext previously obtained through a standard encryption algorithm. Hence, they are considered as dynamic encryption alternatives for random performance [4]. Utilizing random noisy strategies for encryption has resulted in dynamic ciphertext, which plays a crucial role in strengthening data security in organizational contexts. The random Caesar II methodology with (mód 120) is also an AI-based technique, leveraging random and heuristic methods to select the optimal  $Ki$  shift vector [5]. Thus, artificial intelligence was utilized when the heuristic method was applied to select the  $Ki$  vector that yields maximum values for the encryption alphabet. The similarity in procedures between the heuristic method and genetic algorithms leads to the consideration of AI application. This heuristic approach is employed to validate the selected ASCII characters [5,8], with further explanation provided in [8]. A genetic algorithm (GA) is a random procedure comprising selection, crossover, and mutation phases, followed by an evaluation stage utilizing a wrapper [9,10] or fitness function [10,16] for each GA generation [1,2,9,10,16,56,59–62]. In these terms, random Caesar methodology [4,5], only selection procedure of GA is employed for selecting the alphabets with (mód 120) and its  $Ki$  vector of shifts. In this case, the range of  $Ki$  values are delimited between 30 and 150, for it does not exceed the 255 ASCII value. Similarly, the reduced random Caesar strategy [4,5], can utilize the GA selection procedure with (mód 120). For reduced random mutation [4], the first phase (selection)

and third stage (mutation) of the GA model are employed. In both cases, the  $Ki$  shifting range is limited to ordinal values between 0 and 105 to avoid exceeding the ASCII table maximum. This research did not cover reduced random Caesar and reduced random mutation, but they could be explored in future work. Regarding result evaluation, a modified cross-validation method [4–7], it was proposed to internally bias the discrimination process, building on previous discussions. This information can help us recommend the employment of noisy injection as a safety measure in organisations.

## Results and Discussion

All experiments were carried out using  $TS$ , as previously mentioned. Thereby, the estimated error,  $TC$ , and  $TD$ , they were computed separately for each encryption strategy, as described above. A five-fold modified cross-validation [4], it was employed for each  $TS$ , allowing for direct comparison with the results of other studies [5–7]. According to [7], some studies employing the traditional cross-validation method [46,47,56,59,63,65–67] divide the  $TS$  into five subsamples, each containing approximately 20 % of the data, with a similar number of elements per class. One subsample is then used as the test sample ( $MC$ ) to evaluate the model. The remaining four subsamples (roughly 80 % of  $TS$ ), they are joined together to form a training set, which is used to train the model. The model's performance is then evaluated using the  $MC$  as if it were new, unseen patterns. To obtain the standard deviation after calculating the average or global accuracy, the process is repeated five times [66]. This traditional procedure is not applicable to data encryption/decryption, as the evaluation of the encryption algorithm in this research does not require a training model with  $TS$  or evaluation with  $MC$ . Consequently, the training and evaluation tasks are carried out before the ciphertext or  $FinalPackage$  is generated. Initially, the standard encryption algorithm is used to encrypt the plaintext, producing a ciphertext. This ciphertext is then decrypted, and both the original and decrypted vectors are stored in the  $TS$ . For random noisy strategies, the standard encryption algorithm is applied to the plaintext to generate a ciphertext. Then, the heuristic method is used to simulate a partial phase training, utilizing only the random selection stage of the GA, as applicable. The  $Ki$  vector is obtained by partial training using the random Caesar strategy, which it is applied to the ciphertext for noisy injection. The encrypted sequence is decrypted, and both vectors are stored in the  $TS$ . The novel cross-validation modification [4, 5], it has been updated to adopt a new approach that does not rely on  $MC$  for assessing global accuracy [66]. The data encryption/decryption process in this research uses a modified cross-validation approach [4–7], which it omits  $MC$  pattern evaluation. The error is computed using four subsamples of the  $TS$ , and this process is repeated five times, with about 20 % of the  $TS$  being sequentially omitted. The schema simulates the estimated error in different environments by omitting a part of the  $TS$ , which it ensures a more convergent result with an optimistic bias (i.e., the obtained value can be better or equal in practical applications) [7]. This approach allows for the assessment of the estimated error and other numerical features of the  $TS$ . If the decrypted ciphertext does not match the original plaintext, the

error percentage is determined by calculating the proportion of coded characters that they were not decrypted correctly. Similarly, as the traditional cross-validation does, the operation is repeated five times, extracting sequentially, a different subsample in each iteration. With purpose of calculating the average and standard deviation of each attribute or column of numeric type, which in this research, it was applied to the encryption times ( $TC$ ), decryption times ( $TD$ ), and error percentage, globally, without distinguishing the elements by class. As encryption ambiguity was noted during the experimentation process, the cross-validation was performed without distinguishing between classes. This topic may be revisited in future research to provide more comprehensive explanations. However, this situation has not affected the global accuracy of the encryption strategies here evaluated. As a result, the experimentation in this work was limited to two classes of situations. First, the comparison of five standard encryption algorithms (DES, 3DES, AES-256, Blowfish, and Salsa20), they were studied being applied to plaintext as static encryption schema for results comparisons with other authors [5–7]. Secondly, we evaluated four random noisy strategies from [5], using ciphertext, as previously mentioned. Specifically, we studied random noisy DES, random noisy 3DES, random noisy AES-256, and random noisy Blowfish, while the fifth strategy, random noisy Salsa20, it is introduced here as a novel alternative. Therefore, we experimented with the five random noisy strategies separately to inject noise into the ciphertext as a dynamic encryption approach. After processing all the samples for each encryption strategy separately, the global average results, they were computed using the novel updated cross-validation method [4–7], as explained above. This information can be found in Table 1, which includes the standard deviation in parentheses. For comparison with other research [5, 7], in columns  $TC$  and  $TD$  are shown the encryption and decryption times respectively, which they were measured in milliseconds. The iterative procedure was stopped in this study after five repetitions of ciphertext were generated for each encryption method. The results in Table 1, which they include the standard deviation in parentheses, they are based on the average of five sequential experiments here evaluated using the updated cross-validation method [5–11]. The parameters used for the standard encryption methods, they are described below: The DES algorithm was configured with a 56-bit secret key ('00000001'), UTF-8 encoding, and ECB mode [20], with ciphertext output in hexadecimal format. The algorithm's development leveraged the pycryptodome library from Python's language [74, 75]. To obtain ciphertext with the TripleDES (3DES) algorithm, the ECB format [20], and OpenSSL [21, 34] scheme, they were used with a 24-bit secret key ('00000000000000000000000000000001'), resulting in hexadecimal-encoded ciphertext. The 3DES algorithm was implemented in Python using the cryptography package [73]. In the Blowfish algorithm, ECB format [20], with OpenSSL-based default\_backend() and a 16-bit secret key ('00000001'), they were employed, producing hexadecimal-encoded ciphertext. The implementation was also carried out using Python's Cipher module from cryptography package [73]. For AES-256 experiments, a 256-bit secret key ('00000000000000000000000000000001') and a 128-bit IV vector ('0000000000000001'), they were utilized. The implementation involved CBC mode [20], with OpenSSL [21, 34], and PKCS7 padding [21, 34], with 128 bits, generating ciphertext in hexadecimal format. Python's implementation leveraged the cryptography packa-

ge [73]. For the Salsa20 parameters, a 32-bit secret key with the value '00000000000000000000000000000001' was used, along with a nonce value of '00000001' and a mode operation of 'None'. The pycryptodome library [74, 75], it was defined the other requirements using standard values, and the ciphertext outputs were obtained with hexadecimal encoding. The calculation of encryption/decryption times (in milliseconds) and estimated error, they are shown in Table 1. Some of these values were rounded to match the results presented in [5, 7]. Except for ciphertext with the random noisy strategies because these processes of the encryption method are random. Hence, it always generates different and dynamical results. The columns *TC* and *TD*, they are the average times of the estimated procedure for encryption and decryption tasks, respectively (the standard deviation among parentheses is shown). Two tests of ciphertext results for each encryption strategy, they are also shown. Two experimental tests with the same plaintext: "#Welcome#?", in some cases, different results have been obtained. In contrast, the majority of the experiments yielded successful results. With the exception of some tests using the DES algorithm and its associated random noisy scheme, which they have reported errors. Characters beyond the ASCII range, including '#' (ordinal 9619) and '?' (ordinal 65533), introduced into the plaintext, it could be the cause.

Encryption Strategies	TC	TD	% Error	Test 1	Test 2
Salsa20	1.0030 (0.4828)	0.0882 (0.0058)	0 (0)	c35d5f4be4- 3284e385d7- 77345fdf61d243	c35d5f4be4- 3284e385d7- 77345fdf61d243
random noisy Salsa20	1.0232 (0.3491)	0.2717 (0.0311)	0 (0)	±N± <sup>00</sup> H6{F{- 4ÇÇ*©D©±±- ììPs;s·Û- vÛW\$W <sup>3</sup> { <sup>3</sup> q- <qÖrÖ <sup>^</sup> l5lÉÉ s Å- Åj5j*ÇcÇææ·h7hä- äl:l T	Â_ÂzGzhÏh- Ï± ±Á[Á \ãã7Xo- <oo=o»»·ããn;nk3k- ]2P <sub>44</sub> 11ÂÂU- c/c <sup>-</sup> z <sup>-</sup> ÊdÊ- :àà~v~S- £?£QQ_+_ÁÁ
DES	1.1439 (0.5087)	0.1937 (0.0187)	1 (0)	d535c337be- 1d94db5b94- 0b75bce124- dcda93ffa35791bf07	d535c337be- 1d94db5b94- 0b75bce124- dcda93ffa35791bf07z

Encryption Strategies	TC	TD	% Error	Test 1	Test 2
random noisy DES	1.6333 (0.4897)	0.5848 (0.0389)	1 (0)	¿[¿}²c0c¹¹à}ài6iÈ- ÈÀÀíí²M²- l;IUM0ºXº- j5j£A£½½gj:j=Ui4i¥- C¥(«F«ÁÁly- ññÐmÐÐlÐðði0i- a.a°J°&7[- n9na*a»»O- O7÷÷÷\, \i2i	“ððÉÉ]Y¾¾¾)\ m S`F`ÆaÆg- 6gññM-x-x- óóðð§r§ÃÃ«w« «I«- Wr=r¿¿¿- L`ôôV`%V{- I{¾¾, T, åå2=ººRRÑ- kÑñiôôdr=rY”YÆÆ-  à~à&ÿ&ÿp@p®w®”
AES-256	7.3116 (3.7093)	0.6166 (0.0169)	0 (0)	3030303030- 3030303030- 3030303030- 3130319421- 780fc40c59- f14796a598- 115d8e5139- f6f9666f67- cb30fcda01- f22739eeda	3030303030- 3030303030- 3030303030- 3130319421- 780fc40c59- f14796a598- 115d8e5139- f6f9666f67- cb30fcda01- f22739eeda

Encryption Strategies	TC	TD	% Error	Test 1	Test 2
random noisy AES-256	8.4637 (3.9351)	1.0021 (0.0119)	0 (0)	xExdj7jµµY- &YiqjeÄÄ¼- ¼W'Wk8ki9- iU"x"p=p¾- ¾j7jZµµ^.- ^iWOQ!QV- #Vej7jR³³- {K{OUY§s§uCu«z« i ÍÍ®~®ÍgÍ- ËhËs?svFv- ÷÷{F{ÍÍ- I"„hflfr- 9rZi^iÄÄ- ³z³αlαR^"- z-\$îá á²}²½½}J}Ë- ÈÈbÈ°z°α- >α¼¼h2hfq- ;q @ ËË£- @£'R'ÀÄÄ- Äööââ¥A¥- & h7h#„µ- µ²{²j7jn5nðð\$ ¥D¥	“§t§P P[(- [xHxNuEuÇ- ÇnÁÁ'`Ox- Hx»»¹¹µµ- d-y-]ÁÁ_- /_n;nÀÀMS- #S'W'Wo<o- xHxªwª\&\ V~^-v=vÁ- Á¥s¥»»ÀÀ- p8pT²L²í- £o£c3cpRµ- ¼¼_&_Ä^Ä}- L}Z¶¶fTTí- í·G~F~V %- VNcmç÷÷¾- ¾9u@uÄÄ]*-  \ÕöÕKÕn- ÔdQzDz„,- â âX"Xh½Z½ÍkÍ¿h- *<4Á'ÁVk5U#U n [U"UXÉdÉö- öÔpÔÀ_À”
Blowfish	7.5597 (3.7931)	0.6486 (0.0373)	0 (0)	4af747eaab- e473251f42- 200cf8fda7f2	4af747eaab- e473251f42- 200cf8fda7f2

Encryption Strategies	TC	TD	% Error	Test 1	Test 2
random noisy Blowfish	7.8544 (3.7619)	0.9457 (0.0349)	0 (0)	ÉÉïïóóc,c  r _3óóÖuÖ- ÇeÇÇbÇk"q- "hiY\$Y_±K- ±bY'Y <sub>22</sub> <sup>1133</sup> - <sup>11</sup> NñÑ"̄B"̄H- ĐjĐ»W»èè(®)- w(®)±K± t	YÓrÓ5'UcÁ- \ÁÃbÃ(®)M(®)- Á_Áéé '- m6mi6ic1c£- n£ <sub>22</sub> <sup>11</sup> µOµ©u- © <sup>33</sup>  ]±±b- ×t×Á\Át<t- .à à¥D¥ÁÁ.]
3DES	7.6814 (3.9388)	0.5004 (0.0184)	0 (0)	d535c337be- 1d94db5b94- 0b75bce124- dc620c51e2380a3d5c	d535c337be- 1d94db5b94- 0b75bce124- dc620c51e2380a3d5c
random noisy 3DES	8.4594 (4.1892)	0.6742 (0.0179)	0 (0)	êêTTp=pµµ.- e'as <sup>a</sup> EèfÈÄ_Äk:k <§n§ÉÉµQµ-V*- y@yS ǾBǾÄ- ÀÀÄÖ°N°µRµ- ,d3dd2dRRË- gËÄ_Ä£m£Ã- ÃT C m8mh7h ; Z(Z m j2j p çç_- ,_ÓoÓj jöö	8xCxxEx^)- ǾAǾdn;n[\$- [çç7(®)}(®)&w- >wxDxéé <sup>3</sup> Q- <sup>3</sup> µµ <sup>0</sup> X <sup>0</sup> çic- <sup>33220</sup> X <sup>0</sup> ÆÆ- <sup>3</sup> ~ <sup>3</sup> +ÛvÛÓn- Ó£r£( ) ]&i>jY'- Y'ÉgÊj j- [óóYU"U°x°j:jñXÁ^ Ä <sub>44</sub> <sup>3</sup>
Average	5.2134 (3.2975)	0.5526 (0.2849)	0.2 (0.40)	- - - -	- - - -

While these characters might be unavoidable in real applications, in Table 1, it demonstrates that most encryption methods, they were able to hide this issue in the encrypted output. Reference [5], it notes that a common issue with random noisy alternatives is the inability to control the maximum random value selected from the ASCII table. Despite the success of these strategies, an ASCII value can be reinterpreted as a different encoding character, such as UTF-8. By employing mod 120, which yields sequences with allowed ASCII values, we avoided these problems in our study. Unless in particular instances where plaintext input was subject

to noisy injection, as discussed above. Compared to other standard symmetric proposals, the Salsa20-based encryption process, it was substantially faster, with speeds 1.1404 to 7.6577 times greater. This resulted in a millisecond difference of 0.1408 to 6.6783 (see Table 1). Despite the encryption/decryption times, they are much faster using Salsa20 algorithm, in this research, it was observed that this strategy supports plaintext or ciphertext with values greater than 255 characters. Thereby, it can be considered a secure schema if this situation is validated properly. Similarly, the 3DES alternative has not encountered any errors, but it is limited to supporting a maximum of 22 characters for both plaintext and ciphertext, similar to the Blowfish proposals with 13 maximum. In this research, DES has a character limit of 255 for plaintext or ciphertext. Given the average error rate of 1.0 % during data processing, the DES alternative, it is not considered a reliable option. Furthermore, Table 1 in this study presents several static ciphertext results obtained using standard encryption algorithms such as Salsa20, DES, 3DES, AES-256, and Blowfish. However, this does not necessarily imply that these schemes are vulnerable or insecure in all cases. Moreover, random Caesar applied to plaintext achieved the best balance. Notably, the random Caesar II with mod 120 significantly improved encryption times, outperforming the other strategies evaluated. The experiments yielded an average encryption time of 0.14 milliseconds with a standard deviation of 0.0108. In contrast, the decryption process had an average time of 0.05 milliseconds with a standard deviation of 0.0011. These results are not included in Table 1, as the focus of this research is on comparing standard encryption algorithms with their noisy injection applications. When applied to ciphertext, the random noisy Salsa20 strategy, which it combines standard Salsa20 with random Caesar II mod 120, outperformed the rest random noisy approaches here evaluated. The most balanced results are consistently achieved with Salsa20 strategy that it includes its random noisy strategy. Compared to the rest random noisy strategies, the novel random noisy Salsa20 alternative has showed a notable performance improvement, with speeds 1.5962 to 8.2712 times faster. The difference in milliseconds ranged from 0.6101 to 7.4404. The results show that the encryption speed difference between Salsa20 and its random noisy version, it was not significant. For instance, traditional Salsa20 is 1.0201 times faster, with a marginal difference of 0.0201 milliseconds (see Table 1). In this study, both Salsa20 alternatives, they were found to support a maximum plaintext length of 255 characters, as previously noted. Notably, the experiments did not reveal any errors related to this limitation. At any rate, this measure is deemed to provide a substantial improvement in the confidence of the encryption strategy's performance. The random noisy schemes demonstrate potential as an experimental tool, yet further investigation into other aspects is necessary, particularly since the experiments, they were restricted to plaintext inputs of up to 255 characters. The cases of 3DES, and Blowfish are exceptions, as previously discussed. Each encryption strategy was evaluated based on its own training sample, which was designed independently. Random Caesar schemes have proven effective in enhancing data security [4, 5, 9, 11], and the random noisy strategies, they have demonstrated similar efficacy. Table 1 confirms this effect in the global average calculation. Notably, random noisy alternatives result in slightly longer ciphertexts. The experiments revealed that DES-generated ciphertext can be quicker than 3DES, AES-256, and Blowfish. Nonetheless,

the use of DES may pose security risks due to its potential vulnerability to decryption, as evidenced by the 1.0% average error rate observed during encryption and decryption. The use of random noisy strategies with standard encryption algorithms produced dynamic ciphertext results in every instance. Nonetheless, the time required for FinalPackage ciphertext generation exceeded that of the standard algorithms, as demonstrated in Table 1's Test1 and Test2. The execution times for Salsa20 proposals, they are shorter compared to the DES, 3DES, AES-256, and Blowfish strategies here evaluated. Notably, these random noisy schemes consistently produce dynamic ciphertext outputs. Cybercriminals would encounter significant obstacles in decrypting data, as they would need to determine each random  $K_i$  shifting value in advance, which has been previously hidden. When utilizing the PartialNoisy proposal, a novel partial noisy injection scheme introduced in [5], the decryption process becomes notably more complex. The complexity of these data discovery tasks could make them difficult to accomplish, even with quantum computing. The exploration of PartialNoisy was beyond the scope of this study and is suggested for future work. Repeatedly using these random noisy strategies, they can lead to better and more dynamic results in comparison to traditional static encryption methods. This noisy injection alternative, it can increase the security degree of the ciphertext or plaintext. Besides, this situation might warn us against future quantum computing attacks [8, 22, 23, 42], improving the digital data security of the organizations, as mentioned above. Additionally, the resilience of these random noisy alternatives to various cyberattacks remains unevaluated, leaving potential vulnerabilities unknown. Comparing to other studies [4, 5], our research suggests that downsized ciphertext using reduced random or mutation methodologies [4], which they can be effective indicators. These schemes provide a balance between efficiency and security, yielding short ciphertexts and fast encryption processes, while the  $K_i$  shifting of partial ciphertext ensures the protection of data security. These alternatives can mitigate the risk of digital data theft by incorporating a significant amount of noise into the ciphertext. In other words, proposals based on reduced random and mutation schemes show promise. However, this study focuses on other approaches, leaving reduced and mutation alternatives for future works. Notwithstanding the difficulties, the study's goals and hypotheses, they were fulfilled successfully. Due to that the random noisy Salsa20, it has been presented here as a novel proposal based on noisy injection because it allows obtaining dynamic encryption ciphertext outputs. In other words, it can generate varying outcomes, even with identical plaintext input and parameters, thereby confusing potential cybercriminals. This data is supported by the information presented in Table 1. By comparing standard encryption algorithms with random noisy strategies, we can infer that noisy injection is a promising approach for organizations seeking a safe alternative. This approach incorporates the novel random noisy Salsa20 strategy, especially in environments where traditional Salsa20 methods, they are already in use. Implementing the random noisy scheme is recommended to strengthen digital data security in these cryptosystems. This novel alternative based on noisy injection is considered a safe measure for organizations, as it opens up a wide range of opportunities for improving digital data security. Furthermore, a modification to the dynamic encryption methodology presented here could be worth exploring. By utilizing reduced noisy strategies [5], and reduced random mutation schemes [4], this

approach enables a significant reduction in ciphertext size, up to 33%, in FinalPackage compared to random noisy proposals. Another measure that it might be explored, it is the application of different ways for achieving the noisy injection. Especially, those that merge the simultaneous random noisy methodology with artificial intelligence utilizing the nearest neighbor rule [8,10,11,46,47,65,67], and pseudo-hexadecimal encoding [8–10], as noted above. This implies a vast array of possibilities that could be explored in future research.

## Conclusions

Regular updates to cybersecurity strategies, including encryption methods, they are vital for maintaining digital data safety in organizations. However, it does not guarantee their digital data security. Studies cited above [4,8], they have revealed that the challenges posed by inadequate encryption measures. If a method is well-known, it will become in inadequate strategy. Previous studies [4–11], they have proposed various dynamic encryption alternatives to address the issue of digital data theft. We present a novel approach that fuses standard encryption techniques with a random Caesar strategy, tailored for real-world use in organizations. A new dynamical encryption proposal, known as the random noisy Salsa20 strategy, is presented in this paper. Furthermore, the evaluation included a comparison of five dynamic encryption alternatives that utilize random noisy strategies. These strategies leverage artificial intelligence for noisy injection into ciphertext, utilizing random and heuristic methods as previously discussed. Therefore, it has the potential for practical application in organizational contexts. The methodology based on noisy injection makes a valuable contribution to overcoming the limitations of standard encryption strategies, which in turn boosts its effectiveness. Experimental results with the dynamic encryption random noisy alternatives, they have revealed that can cope with the cyberattacks and data security problems with high levels of trust. Hence, despite of the occurred difficulties, the research's hypotheses and objectives, they were fulfilled successfully. Due to that the random noisy Salsa20, it has been presented here as a novel proposal based on noisy injection because it allows obtaining dynamic encryption ciphertext outputs. Besides, in all cases, these random noisy strategies, they allow the dynamic generalized results even better than those obtained with the standard encryption algorithms (see Table 1). We plan to conduct further investigation into this matter. One of the methods we'll be exploring is the application of measures to decrease the size of ciphertext resulting from random noisy strategies. The use of reduced random schemes [5], or reduced mutation strategies [4], it might be an option, since they enable the masking of ciphertext operations. Another potential approach to consider is the use of various methods for achieving noisy injection. In particular, the methods that synergize random noisy approaches with nearest neighbor rule-based AI and pseudo-hexadecimal encoding, as noted earlier. As expected, this involves a multitude of possibilities that we can cover in future works.

## Acknowledgment

This work was supported by Tecnológico Nacional de México (I.T. Ciudad Altamirano). This research is future work of a last project identified by: 19329.24-P.

## Contribución de Autoría

Edgar Rangel Lugo: [Administración de proyectos](#), [Investigación](#), [Metodología](#), [Software](#), [Validación](#) (random noisy strategies), [Redacción - borrador original](#). Kevin Uriel Rangel Ríos: [Conceptualización](#), [Investigación](#), [Software](#), [Validación](#) (several experiments, random noisy strategies), [Escritura](#), [revisión y edición](#) (reviewer, editing, and translation). Carlos Alberto Bernal Beltrán: [Investigación](#), [Validación](#) (standard encryption algorithms). Leonel González Vidales: [Investigación](#), [Validación](#) (standard encryption algorithms). César Del Ángel Rodríguez Torres: [Investigación](#). Lucero De Jesús Ascencio Antúnez: [Validación](#) (standard encryption algorithms). Rosa Isabel Reynoso Andrés: [Validación](#) (standard encryption algorithms).

## Referencias

- [1] B. Delman, “Genetic algorithms in cryptography,” Master’s thesis, Rochester Institute of Technology, 2004, rIT Scholar Works.
- [2] S. Kalsi, H. Kaur, and V. Chang, “Dna cryptography and deep learning using genetic algorithm with nw algorithm for key generation,” *Journal of Medical Systems*, vol. 42, no. 17, 2018.
- [3] J. C. Mendoza, “Demostración de cifrado simetrico y asimétrico,” *Ingenius, Revista de Ciencia y Tecnología*, no. 3, pp. 46–53, 2008.
- [4] E. Rangel and K. U. Rangel, “Novel random encryption methods based on mutation strategies of artificial intelligence,” *SPCSJ: Scientific and Practical Cyber Security Journal*, vol. 8, no. 3, pp. 84–91, 2024.
- [5] E. Rangel, K. U. Rangel, and L. González, “Dynamic encryption methods based on noisy injection and camouflaging ciphertext strategies with artificial intelligence,” *SPCSJ, Scientific and Practical Cyber Security Journal*, vol. 9, no. 1, pp. 82–104, 2025.
- [6] —, “Inyección de ruido para encriptado de datos dinámico con inteligencia artificial. caso de estudio: Algoritmo gost r 34.12-2015,” *Revista Electrónica de Divulgación de la Investigación del SABES*, vol. 29, 2025.

- [7] E. Rangel and K. U. Rangel, “Mejorando la seguridad del algoritmo camellia, mediante la inyección de ruido sobre textos cifrados utilizando procesos basados en inteligencia artificial,” *INTELETICA, Revista de Inteligencia Artificial, Ética y Sociedad*, vol. 2, no. 3, 2025.
- [8] E. Rangel, K. U. Rangel, L. González, A. Ortiz, and C. A. Rodríguez, “Four dynamic encryption alternatives with artificial intelligence based on pseudo-hexadecimal noisy injection schema for handling the theft of digital data problem,” *SPCSJ, Scientific and Practical Cyber Security Journal*, vol. 9, no. 3, pp. 59–77, 2025.
- [9] E. Rangel, K. U. Rangel, J. Medrano, C. A. Bernal, and L. González, “Algoritmo genético para cifrado de datos, basado en un nuevo concepto pseudo-hexadecimal con inteligencia artificial,” in *VI Congreso Nacional De Investigación En Ciencia E Innovación De Tecnologías Productivas*, Cd. Altamirano, Guerrero, México, 2023.
- [10] E. Rangel, K. U. Rangel, and L. González, “Cifrado de datos dinámico con inteligencia artificial, utilizando el nuevo formato pseudo-hexadecimal,” *Revista Electrónica de Divulgación de la Investigación del SABES*, vol. 28, 2024.
- [11] E. Rangel and K. U. Rangel, “La regla del vecino más cercano como alternativa para inyectar ruido a mensajes encriptados por el algoritmo: Noised random hexadecimal,” *INTELETICA, Revista de Inteligencia Artificial, Ética y Sociedad*, vol. 1, no. 2, pp. 1–15, 2024.
- [12] D. Álvarez, “Algunos aspectos jurídicos del cifrado de comunicaciones,” *Derecho PUCP*, no. 83, pp. 241–264, 2019.
- [13] F. Barranco and C. Galindo, *Criptografía básica y algunas aplicaciones*. Universidad Jaume I, 2022.
- [14] S. Gómez, J. D. Arias, and D. Agudelo, “Cripto-análisis sobre métodos clásicos de cifrado,” *Scientia Et Technica*, vol. 2, no. 50, pp. 97–102, 2012.
- [15] B. Javidi and J. L. Horner, “Optical pattern recognition for validation and security verification,” *Optical Engineering*, vol. 33, no. 6, pp. 1752–1756, 1994.
- [16] B. Reddaiah, “A study on genetic algorithms for cryptography,” *International Journal of Computer Applications*, vol. 177, no. 28, pp. 1–4, 2019.
- [17] C. Sebas, “¿qué son los algoritmos genéticos en las inteligencias artificiales?” 2023.
- [18] S. Paul, P. Dasgupta, P. K. Naskar, and A. Chaudhuri, “Secured image encryption scheme based on dna encoding and chaotic map,” *Review Of Computer Engineering Studies*, vol. 4, no. 2, pp. 70–75, 2017.

- [19] R. Oppliger, *Contemporary cryptography*. Artech House Computer Security Library, 2005.
- [20] D. R. Stinson and M. B. Paterson, *Cryptography: Theory and Practice*, 4th ed. Chapman and Hall/CRC, 2019.
- [21] H. C. A. Van-Tilborg, *Encyclopedia Of Cryptography And Security*. Springer, 2005.
- [22] L. Baklaga, “Leading the way in quantum-resistant cryptography for everyday safety,” *SPCSJ, Scientific and Practical Cyber Security Journal*, vol. 8, no. 3, pp. 65–73, 2024.
- [23] R. Bavdekar, C. Eashan-Jayant, A. Ankit, and K. Tiwari, “Post quantum cryptography: A review of techniques, challenges, and standardizations,” in *International Conference on Information Networking (ICOIN)*, 2023.
- [24] Q. H. Dang and H. Q. Le, “Improved cryptanalysis of the rsa algorithm using side-channel attacks,” *Journal of Information Security and Applications*, vol. 65, 2022.
- [25] D. Luciano and G. Prichett, “Cryptology: From caesar ciphers to public-key cryptosystems,” *The College Mathematics Journal*, vol. 18, pp. 2–17, 1987.
- [26] M. S. Rahman and M. S. Hossain, “A secure private key cryptography scheme using rsa and aes,” *Journal of Cybersecurity*, vol. 1, no. 1, pp. 1–9, 2021.
- [27] J. Rodríguez, *Operadores Genéticos Aplicados A La Criptografía Simétrica*. Universidad Distrital Francisco José De Caldas, 2020.
- [28] M. Baker and J. Schiller, “Ecies: Elliptic curve integrated encryption scheme,” in *Cryptography and Network Security*. Springer, 2015, pp. 245–263.
- [29] D. Hankerson, J. L. Hernandez, and A. J. Menezes, “Software implementation of elliptic curve cryptography over binary fields,” in *CHES 2000, LNCS 1965*. Springer-Verlag, 2004, pp. 1–24.
- [30] P. L. Montgomery, “Speeding up the pollard rho method,” *Mathematics of Computation*, vol. 48, no. 177, pp. 453–456, 1987.
- [31] NIST, “Recommended methods for key establishment using public key cryptography,” NIST Special Publication 800-56A, Tech. Rep., 2013.
- [32] H. W. Dhany, F. Izhari, H. Fahmi, M. Tulus, and M. Sutarman, “Encryption and decryption using password based encryption, md5, and des,” *Atlantis Press*, 2018.

- [33] A. Kumar and S. Sharma, “A study on historical cryptographic techniques: Caesar cipher to des,” *International Journal of Advanced Science and Technology*, vol. 30, no. 2, pp. 555–564, 2021.
- [34] H. C. Van and S. Jajodia, *Encyclopedia Of Cryptography And Security*. Springer Science & Business Media, 2011.
- [35] B. Schneier, “Description of a new variable-length key, 64-bit block cipher (blowfish),” in *Fast Software Encryption*, 1994.
- [36] —, *Secrets and lies: Digital security in a networked world*. Wiley, 2000.
- [37] E. A. AL-Maqtari, “Performance evaluation for aes, blowfish, des, and 3des cryptography algorithms,” *PUIRP: Partners Universal Innovative Research Publication*, vol. 2, no. 5, pp. 86–95, 2024.
- [38] R. K. Muhammed, R. R. Aziz, A. A. Hassan, A. M. Aladdin, S. J. Saydah, T. A. Rashid, and B. A. Hassan, “Comparative analysis of aes, blowfish, twofish, salsa20, and chacha20 for image encryption,” *Kurdistan Journal of Applied Research*, vol. 9, no. 1, pp. 52–65, 2024.
- [39] H. K. Garai and S. Dey, “A multi-step key recovery attack on reduced round salsa and chacha,” *Cryptologia*, vol. 49, no. 3, pp. 252–267, 2024.
- [40] A. Saini, A. Tsokanos, and R. Kirner, “Cryptoqnrq: a new framework for evaluation of cryptographic strength,” *The Journal of Supercomputing*, vol. 79, pp. 12 219–12 237, 2023.
- [41] J. Daemen and V. Rijmen, *The Design of Rijndael: AES - The Advanced Encryption Standard*. Springer, 2002.
- [42] M. Iavich, T. Kuchukhidze, and A. Gagnidze, “Post-quantum digital signature using verkle trees and lattices,” *SPCSJ, Scientific and Practical Cyber Security Journal*, vol. 8, no. 3, pp. 35–52, 2024.
- [43] P. Fuegner, “Are rsa and aes both at risk from the quantum threat?” 2024.
- [44] S. Sengupta and S. Ghosh, “Quantum computing encryption threats: Why rsa and aes are at risk,” *Journal of Cryptographic Research*, 2023.
- [45] J. Thakur and N. Kumar, “Des, aes and blowfish: Symmetric key cryptography algorithms simulation based performance analysis,” *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, pp. 6–12, 2011.
- [46] E. Rangel, “Vecinos envolventes para variantes de la regla del vecino más cercano,” Master’s thesis, Instituto Tecnológico de Toluca, 2002.

- [47] —, “La regla de los k vecinos más cercanos (k-nn) basada en distancia de manhattan (city-block) para mejorar la clasificación de patrones,” in *V Congreso Nacional De Investigación En Ciencia E Innovación De Tecnologías Productivas*, 2022.
- [48] S. S. Iyengar, R. Kannan, and S. Ganapathi, “Inteligencia artificial y criptografía: Tendencias y desafíos,” *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing*, vol. 9, no. 2, pp. 833–844, 2021.
- [49] X. Liu and X. Wang, “Quantum cryptanalysis of lattice-based cryptographic protocols,” *Physical Review X*, vol. 12, no. 2, 2022.
- [50] A. K. Singh, P. Kumar, and R. Singh, “Aplicación de la inteligencia artificial en la criptografía: Una revisión,” *Journal of Intelligent Information Systems*, vol. 67, no. 2, pp. 257–275, 2021.
- [51] T. M. Mitchell, *Machine learning*, 2nd ed. McGraw-Hill, 2020.
- [52] J. Ross-Quinlan, *C4.5: Programs for Machine Learning*. Morgan Kaufmann, 1993.
- [53] S. J. Russell and P. Norvig, *Inteligencia artificial: Un enfoque moderno*, 4th ed. Pearson, 2020.
- [54] A. K. Hartmann, “Heuristic search in graphs,” *Journal of Artificial Intelligence Research*, vol. 68, pp. 1–33, 2020.
- [55] J. S. Sánchez, F. Pla, and F. J. Ferri, “Prototype selection for the nearest neighbor rule through proximity graphs,” *Pattern Recognition Letters*, vol. 18, pp. 507–513, 1997.
- [56] L. I. Kuncheva and L. C. Jain, “Nearest neighbor classifier: Simultaneous editing and feature selection,” *Pattern Recognition Letters*, vol. 20, pp. 1149–1156, 1999.
- [57] K. P. Murphy, *Probabilistic machine learning: An introduction*. MIT Press, 2022.
- [58] B. Reddaiah, “A study on pairing functions for cryptography,” *IJCA*, vol. 149, no. 10, pp. 4–7, 2016.
- [59] D. B. Skalak, “Prototype and feature selection by sampling and random mutation hill climbing algorithms,” in *Proceedings of the Eleventh International Conference on Machine Learning*. Morgan Kaufmann, 1994, pp. 293–301.
- [60] A. Clark, “Modern optimisation algorithms for cryptanalysis,” in *Proceedings of the 1994 Second Australian and New Zealand Conference on Intelligent Information Systems*, 1994, pp. 258–262.
- [61] W. Gründlingh and J. H. Van-Vuuren, “Using genetic algorithms to break a simple cryptographic cipher,” 2002, submitted.

- [62] R. A. J. Matthews, “The use of genetic algorithms in cryptanalysis,” *Cryptologia*, vol. 17, no. 4, pp. 187–201, 1993.
- [63] L. Bruzzone and S. B. Serpico, “Classification of imbalanced remote-sensing data by neural networks,” *Pattern Recognition Letters*, 1997.
- [64] I. Goodfellow, Y. Bengio, and A. Courville, *Deep learning*. MIT Press, 2021.
- [65] R. Barandela, J. S. Sánchez, V. García, and E. Rangel, “Strategies for learning in class imbalance problems,” *Pattern Recognition*, vol. 36, no. 3, pp. 849–851, 2003.
- [66] D. Lewis and J. Catlett, “Heterogeneous uncertainty sampling for supervised learning,” in *Proceedings of the 11th International Conference on Machine Learning*, 1994, pp. 148–156.
- [67] T. M. Cover and P. E. Hart, “Nearest neighbor pattern classification,” *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 13, pp. 21–27, 1967.
- [68] E. Rangel and K. U. Rangel, “Novel pseudo-hexadecimal encryption strategies for camouflaging ciphertext based on nearest neighbor with artificial intelligence,” *IJCOPI*, 2024.
- [69] Microsoft, “Descarga de software,” 2025.
- [70] Python.org, “The python network,” 2024.
- [71] Google, “Android 12, sistema operativo para dispositivos móviles,” 2024.
- [72] Pydroid3, “Pydroid3 versión 7.4\_arm64,” 2025.
- [73] Python, “Cryptography 45.0.4,” 2025.
- [74] PyCryptodome, “Crypto.cipher package,” 2025.
- [75] PyPI, “Pycryptodome 3.21.0,” 2024.

## Artículos de revisión



Tipo de artículo: Artículos de revisión  
Temática: Inteligencia Artificial  
Recibido: 21/3/2025 | Aceptado: 24/4/2025 | Publicado: 30/9/2025

Identificadores persistentes:  
DOI: [10.48168/innosoft.s24.a215](https://doi.org/10.48168/innosoft.s24.a215)  
ARK: [ark:/42411/s24.a215](https://nbn-resolving.org/ark:/42411/s24.a215)  
PURL: [42411/s24.a215](https://purl.org/42411/s24.a215)

## Impacto de la Inteligencia Artificial en las ciudades Avanzadas: Un futuro potenciado.

### *The Impact of Artificial Intelligence on the Evolution of Advanced Cities: An Empowered Future*

Renzo Said Florian-Villegas<sup>1</sup>[\[0009-0006-6287-1348\]\\*, Jack David García Alayo<sup>2</sup>\[\\[0009-0005-3038-242X\\]\]\(https://orcid.org/0009-0005-3038-242X\),  
Marcelino Torres Villanueva<sup>3</sup>\[\\[0000-0002-9797-1510\\]\]\(https://orcid.org/0000-0002-9797-1510\)](https://orcid.org/0009-0006-6287-1348)

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú. [rflorianv@unitru.edu.pe](mailto:rflorianv@unitru.edu.pe)

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú. [jgarciaa@unitru.edu.pe](mailto:jgarciaa@unitru.edu.pe)

<sup>3</sup>Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú. [mtorres@unitru.edu.pe](mailto:mtorres@unitru.edu.pe)

\*Autor para correspondencia: [rflorianv@unitru.edu.pe](mailto:rflorianv@unitru.edu.pe)

---

#### Resumen

Este estudio científico se centra en una revisión de la literatura sobre el uso de la Inteligencia Artificial (IA) y su impacto en los diferentes sectores clave que conforman una ciudad. Destacando los beneficios que tiene su implementación y los desafíos a los que se enfrentan los gobiernos para su regulación y control. Para ello, se seleccionaron 9 artículos científicos que abordan los temas que se hablarán a lo largo de este artículo: la política, el transporte, la seguridad ciudadana, la educación, el trabajo y la salud. Con esto se quiere dar a conocer el beneficio que tiene la implementación de la IA en estos sectores que permitirán guiarnos hacia un futuro moderno donde la IA prevalece como una herramienta insustituible.

**Palabras claves:** ámbitos sociales, ciudad avanzada, inteligencia artificial.

#### Abstract

*This scientific study focuses on a literature review on the use of Artificial Intelligence (AI) and its impact on the different key sectors that make up a city. Highlighting the benefits of its implementation and the challenges faced by governments for its regulation and control. For this purpose, 9 scientific articles were selected that address the topics that will be discussed throughout this article: politics, transportation, citizen security, education, labor and health. The aim is to show the benefits of AI implementation in these sectors that will guide us towards a modern future where AI prevails as an irreplaceable tool.*

**Keywords:** *social spheres, advanced city, artificial intelligence.*

---

## Introducción

Todos los días, la Inteligencia Artificial da pasos agigantados en diversas áreas del conocimiento y la tecnología, transformando la manera en cómo vivimos y trabajamos. En el ámbito urbano, la IA está implementando una base sólida para la evolución disruptiva hacia ciudades inteligentes y, sobre todo, sostenibles. Este análisis se propone explorar como la IA impacta en áreas clave como: la política, el transporte, la seguridad ciudadana, la educación, el trabajo y la salud. Al profundizar en este estudio, se examinará los efectos y los procesos que la IA está generando en cada sector que lleva a un desarrollo más eficiente, inclusivo y sostenible.

Para enfatizar con el término de “Inteligencia Artificial”, es crucial examinar las aportaciones de reconocidos especialistas. Las contribuciones propuestas por Bádaro, Ibañez y Agüero (2013) [1], nos proporcionan una idea crucial sobre este término que nos permite comprender mejor la base de nuestro estudio. Del mismo modo, los análisis exhaustivos de Morales, Fletscher y Botero (2023) [2], definen el término de “ciudad inteligente” a aquella que emplea tecnologías y herramientas de software para solucionar diversas problemáticas en el ámbito social y económico, además de ello, exponen el uso que se podría dar a la IA en proyectos de seguridad ciudadana.

Al expandir el alcance hacia otras áreas de impacto, se destacan las contribuciones de Mena, Vázquez, Fernández y López (2024) [3], enmarcando el propósito de comprender el alcance de la integración de la evolución de la tecnología en el ámbito educativo, este análisis se apoya con los estudios de Rivero y Beltrán (2024) [4], alegan que, en los próximos años la IA tendrá un mayor desarrollo en nuevas aplicaciones que cambien la forma en cómo se enseña actualmente.

Otro factor relevante en el que se utiliza la IA es la seguridad vial abordado por Arellano, Arceo, Díaz y Zamudio (2024) [5], analizan la integración de la Inteligencia Artificial en los sistemas de transportes inteligentes para mejorar la seguridad vial.

En el ámbito específico de la política, el estudio remarcable de Viudes (2023) [6], expone sobre la influencia y alcance del uso de esta herramienta para transformar campañas políticas, recalando también, la preocupación de dicha influencia en la privacidad de los datos y la manipulación política. Bajo esta línea de preocupación se suma los estudios de Abdala y Lacroix (2019) [7], litigan el hecho de que la IA debe ser regulada para garantizar su uso responsable y evitar abusos en cuanto a la toma de decisiones políticas y la manipulación de la opinión pública. No podemos pasar por alto el ámbito del trabajo, gracias a las aportaciones de Cevasco, Corvalán y La Fevre (2019) [8], menciona que la Inteligencia Artificial está transformando el empleo en varios sectores, especialmente, centrándose en tareas repetitivas, como: realizar cálculos matemáticos simples y responder preguntas frecuentes. Sus estudios también se dirigen a un área importante, el sector salud, argumentando que los sistemas de Inteligencia Artificial pueden asistir a los médicos, detectando diversas enfermedades

como el cáncer o enfermedades cardíacas, defendiendo que esta tecnología tiene el potencial de reducir costos y aumentar la calidad del cuidado médico. Este estudio se enriquece con las investigaciones científicas de Lanzagorta, Carrillo y Carrillo (2022) [9], detallando que los médicos en el futuro estarán obligados en emplear la IA como una herramienta esencial para la atención del paciente, permitiendo también reducir los errores médicos y mejorar la precisión diagnóstica mediante el empleo de algoritmos.

## Materiales y métodos o Metodología computacional

En el presente artículo se implementó la metodología PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses) con la finalidad de facilitar el trabajo y brindar un marco estructurado de la documentación transparente que hicieron otros autores y el porqué de dicha revisión.

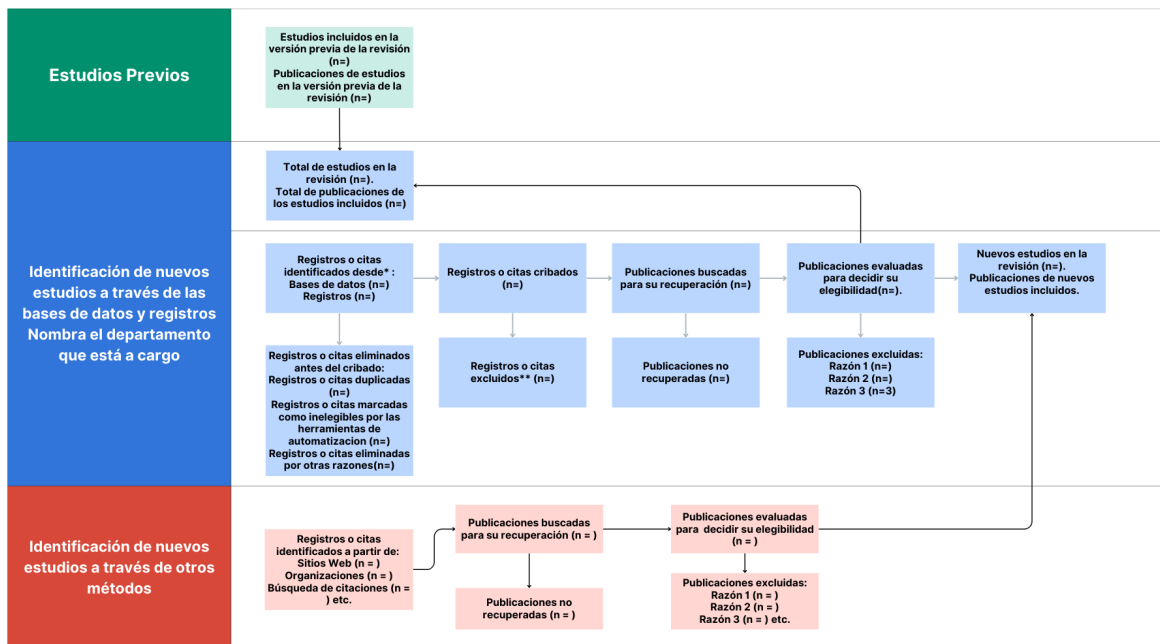


Figura 1. Diagrama de flujo de la metodología PRISMA.

### Ecuaciones de búsqueda

Para comenzar el proceso de nuestra búsqueda, se utilizaron conectores booleanos que contienen nuestras variables de estudio. Para poder incrementar la precisión y, por lo tanto, los resultados correctos de la entrega

o muestra de revistas científicas, se diseñó una arquitectura que combina los términos preestablecidos con operadores booleanos que se detallan en la Tabla 1.

Repositorio	Cadena de búsqueda
<b>Google Académico</b>	“inteligencia artificial” “ciudades avanzadas”
<b>Scielo</b>	(TITLE-ABS-KEY (“inteligencia artificial”) AND TITLE-ABS-KEY (“ciudades avanzadas”))
<b>Revistas Innovación y Software</b>	(TITLE-ABS-KEY (“inteligencia artificial”) AND TITLE-ABS-KEY (“ciudades avanzadas”))

Tabla 1. Ecuación de búsqueda por cada base de datos.

### Criterios de inclusión y exclusión

Los criterios de inclusión y exclusión son parámetros para realizar una revisión bibliográfica o de un artículo más elegibles. Estos criterios nos permitieron seleccionar aquellos estudios que son relevantes para nuestra investigación. Todos los criterios de inclusión se encuentran en la Tabla 2 y los de exclusión en la Tabla 3.

N °	Criterios de inclusión
<b>CI1</b>	Investigaciones científicas que abordan el tema de la inteligencia artificial en los diferentes ámbitos que intervienen en el desarrollo de una ciudad.
<b>CI2</b>	Investigaciones científicas en español.
<b>CI3</b>	Investigaciones científicas publicados entre el 2019-2024.

Tabla 2. Criterios de inclusión.

a CI= criterio de inclusión

### Proceso de recolección de información

Las búsquedas se realizaron mediante los criterios de inclusión presentados en la tabla 3, se emplearon los términos inteligencia artificialz ciudades avanzadas”. Se obtuve un gran número de resultados en base a dicha búsqueda.

N °	Criterios de inclusión
<b>CE1</b>	Investigaciones científicas publicados entre los años 2019-2024.
<b>CE2</b>	Investigaciones científicas de revisión.
<b>CE3</b>	Investigaciones científicas en idioma español.

Tabla 3. Criterios de inclusión.

En la Tabla 4 se muestra la comparación de las investigaciones científicas correspondientes a cada base de datos y los diversos motores de búsquedas empleados.

Base de datos/ Motor de Búsqueda	Artículos encontrados en total	Aplicando CE1	Aplicando CE2	Aplicando CE3
<b>Google Académico</b>	28500	16600	212	25
<b>Scielo</b>	1384	1024	1024	10
<b>Revistas Innovación y Software</b>	179	130	130	130
<b>Total</b>	30063	17754	1366	165

Tabla 4. Depuración de artículos utilizando criterios de inclusión y exclusión.

Se aplicaron dichos filtros para la revisión y selección de investigaciones científicas (ver Figura 2), siguiendo los criterios de inclusión y exclusión dichas.

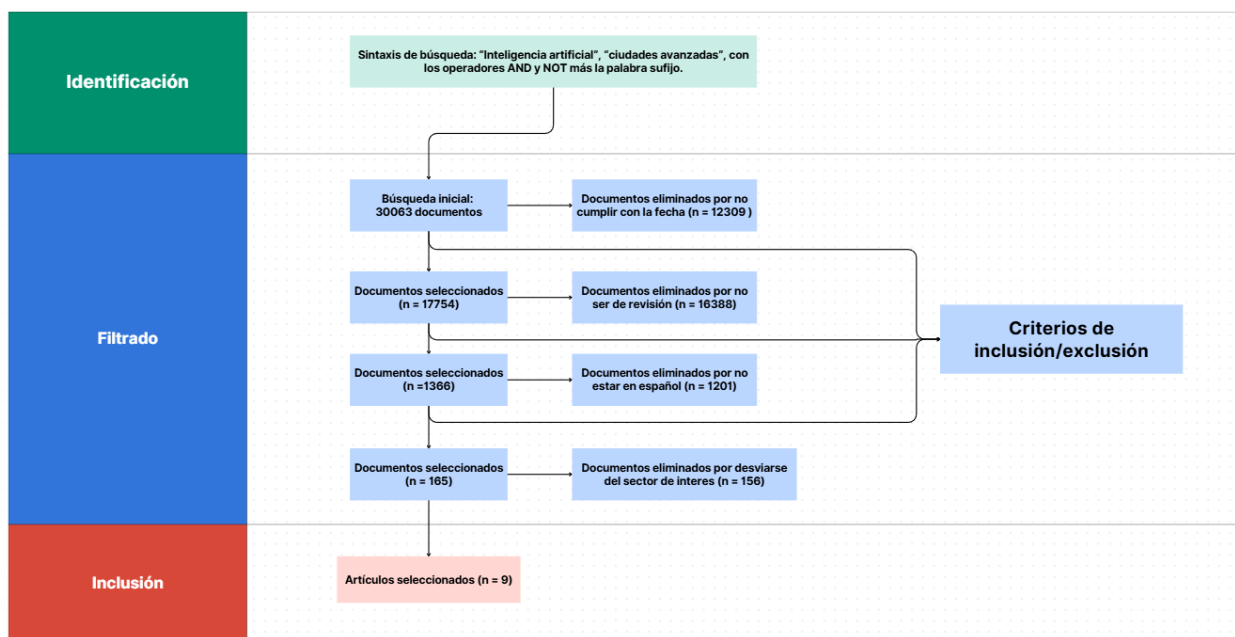


Figura 2. Diagrama de flujo PRISMA aplicado a este artículo.

## Resultados

Se presentará los resultados obtenidos de las 9 investigaciones científicas recopiladas y citadas en el presente artículo, que demuestra el impacto de la IA en los sectores de mención señaladas anteriormente. Se recopila todos estos resultados en la presente tabla.

Tabla 5. Resultados de los artículos académicos seleccionados

N °	Título del artículo	Resultados
1	“Sistemas Expertos: Fundamentos, Metodologías y Aplicaciones” (2013)	En el presente estudio explican el uso de los Sistemas Expertos para diferentes campos donde su aplicación es crucial. Mencionan que, a pesar de ser de gran ayuda, no son aptos de resolver problemas generales, además de ello, hacen hincapié en cómo la Inteligencia Artificial presente una gran flexibilidad, confiabilidad y escalabilidad y que es suficientemente madura para hacerles confiar en decisiones cruciales.

N °	Título del artículo	Resultados
2	“La Inteligencia Artificial como apoyo a la gestión de la seguridad ciudadana: un estado del arte” (2023)	El presente artículo evidencia un estudio utilizando Redes Neuronales que permiten el reconocimiento y detección de objetos, sean rostros, armas o fuego. Recalcan que las Redes Neuronales permite determinar métricas de gran importancia para el control de la seguridad ciudadana.
3	“La inteligencia artificial y su producción científica en el campo de la educación” (2024)	El estudio abarcado en el presente artículo se enfoca en cómo es el impacto de la Inteligencia Artificial en el campo de la educación, reflejan y alegan que la IA ofrecerá posibilidades de mejora en los procesos educativos ya sea: desde uso de la IA en las aulas, aprendizajes adaptativos hasta ecologías de aprendizaje. Sin embargo, se plantea también algunos retos relacionados con la adaptación pedagógica y una necesidad permanente de una investigación continua.
4	“La Inteligencia artificial en la educación del siglo XXI: avances, desafíos y oportunidades” (2024)	El presente trabajo científico expone los diferentes tipos de IA en la educación, hacen mención a las técnicas de <i>Machine Learning</i> (aprendizaje automático) y <i>Learning Analytics</i> (analítica del aprendizaje) considerando su impacto y beneficio, tales como: predicción en la educación mediante el análisis de datos, sistema de tutoría inteligente. Se aborda también un tema importante como es la deserción de estudiantes universitarios, alegan que con el uso de la Inteligencia Artificial en las universidades se podrán realizar cálculos estadísticos favorables para estudiar el comportamiento y predicción de este factor.
5	“Mejora del Tráfico Urbano en la Ciudad de México Mediante Tecnologías Avanzadas de IA en semáforos” (2024)	El estudio científico realizado alega que el uso de algoritmos de IA en semáforos promete una mejora en la gestión del tráfico urbano, a través de un aprendizaje y adaptación continua la fluidez del tráfico se verá afectado de manera positiva, reduciendo la congestión vehicular, así como también la reducción de emisiones contaminantes al ambiente y por supuesto, el consumo de combustible. Estas soluciones resultan ser más seguras, sostenibles y, sobre todo, inteligentes, que permiten el desarrollo de una ciudad en el futuro.

N °	Título del artículo	Resultados
6	“Revolucionando la política: El papel omnipresente de la IA en la segmentación y el targeting de campañas modernas” (2023)	Se detalla en el presente artículo científico el impacto de la IA en la política moderna, especialmente en campañas. Permite dividir a los votantes en grupos más específicos, personalizando los mensajes y mejorando la predicción del comportamiento electoral. Sin embargo, mencionan también los desafíos éticos y de privacidad y riesgos de manipulación. Se espera para un futuro un mayor uso de estas tecnologías para mejorar estos aspectos y la necesidad de regulaciones éticas por parte de las autoridades.
7	“La política de la Inteligencia Artificial: sus usos en el sector público y sus implicancias regulatorias” (2019)	En el siguiente documento de investigación exponen la transformación de la IA en la política y las políticas públicas, mejorando la eficiencia en educación y finanzas. Sin embargo, explican que se ven afectados o ponen en riesgo temas de ética, sesgos algorítmicos y la falta de regulación global. Mencionan también que deben existir marcos regulatorios claros y colaboración entre gobiernos y empresas para medir el uso de la IA en este ámbito, explicando y recalando que la IA debe respetar los derechos fundamentales y que permita beneficiar a todos.
8	“Inteligencia Artificial y trabajo. Construyendo un nuevo paradigma de empleo” (2019)	Este trabajo científico permite abordar un ámbito sumamente importante que es el trabajo, los expertos exponen que la IA no ha generado un aumento significativo en el desempleo global. Por el contrario, alegan que le permiten al trabajo humano una potenciación, donde tanto el trabajo humano y máquinas colaboran de forma complementaria, permitiendo realizar actividades a la par. Argumentan también que dichas estrategias pueden tener un gran impacto en Latinoamérica que permitirá maximizar beneficios y minimizar riesgos.

N °	Título del artículo	Resultados
9	“Inteligencia artificial en medicina: presente y futuro” (2022)	Un factor importante se aborda en este presente artículo científico que es la medicina, los autores exponen que la utilidad que tiene la IA en el ámbito médico es interminable, muchas herramientas existentes o las nuevas herramientas que pueden ser creadas serán de gran ayuda para el día a día de los médicos. Una mejora de la relación del médico-paciente será influenciada de actividades rutinarias controladas por IA. Sentencian que, la IA se convertirá en un futuro, la esencia de la medicina.

## Conclusiones

A partir de todo lo visto anteriormente, se revela que la Inteligencia Artificial tiene un impacto muy positivo en los diferentes ámbitos que conforman o hacen funcionar a una ciudad. Esto refleja una tendencia hacia una mayor eficiencia y automatización de tareas específicas, toma de decisiones y predicción. Uno de las pruebas significativas de esto, es el reconocimiento de armas, rostros, fuego en cámaras de seguridad usando Redes Neuronales, que permite tener un mejor control en el aspecto de seguridad ciudadana. Además, se asegura que el ámbito de la educación también se ve afectada de manera positiva ya que, se explica que con la ayuda de la Inteligencia Artificial se podrá mejorar la calidad de enseñanza, así como sus métodos, creando aulas con uso de IA, tutoría inteligente y, además, se quiere lograr y predecir comportamientos de deserción de alumnos universitarios. Estos factores son importantes ya que permitirán un nuevo modelo de enseñanza a los estudiantes, de una manera más eficaz, sencilla y rápida. El impacto estudiado sobre el transporte también da buenos mensajes, en México se afirmó que, el uso de algoritmos de IA en semáforos mejora la gestión de tráfico urbano, reducción de emisiones contaminantes al ambiente y por supuesto, el consumo de combustible. Esto no solamente ayuda a los conductores y pasajeros que toman o usan esta forma de transporte, si no también, beneficia al medio ambiente, haciendo una ciudad más sana con menos emisiones contaminantes y el desarrollo de esta misma hacia el futuro. Con respecto a la política, el estudio recopilado en este artículo, nos habla de una mejora en el aspecto de educación, finanzas y la ayuda en la predicción de comportamientos electorales en la población, sin embargo, recalcan que el uso de la IA debe ser regulada por los gobiernos con normas éticas para su correcto uso y evitar riesgos de manipulaciones. Otro ámbito que se resalta es el trabajo, un tema que ha sido controversial en la última década, sin embargo, los expertos afirman que la IA no afecta de manera significativa la tasa de desempleo en las ciudades, mas bien, alegan que la interacción de hombre-máquina es una realidad y que ambos pueden trabajar a la par y realizar tareas más eficientes y rápidas. Y, por último,

el sector salud se viene o se verá afectado de manera positiva gracias al uso de IA, su impacto se reflejará en la calidad de los resultados médicos, calidad de atención de pacientes y la gestión de la salud pública, además, se dice que la Inteligencia Artificial será la esencia de la medicina con el pasar de los años.

Conociendo todas estas conclusiones, la IA ha emergido como una herramienta clave en todos los sectores estudiados en este artículo, que conforman una parte significativa para el desarrollo de un país/ciudad, promoviendo soluciones innovadoras y sustituyendo tareas simples, pero se recalca que su implementación debe ser regulada y guiada con principios éticos por los gobiernos de turno.

## Contribución de Autoría

Renzo Said Florian-Villegas: [Conceptualización](#), [Investigación](#), [Metodología](#), [Validación](#), [Redacción - borrador original](#). Jack David García-Alayo: [Conceptualización](#), [Investigación](#), [Metodología](#), [Análisis formal](#), [Escritura](#), [revisión y edición](#). Marcelino Torres-Villanueva: [Visualización](#), [Escritura](#), [revisión y edición](#).

## Referencias

- [1] S. Badaró, L. Ibañez, and M. Agüero, “Sistemas expertos: Fundamentos, metodologías y aplicaciones,” *Dialnet*, no. 13, pp. 349–364, 2013.
- [2] O. Morales, L. Fletscher, and J. Botero, “La inteligencia artificial como apoyo a la gestión de la seguridad ciudadana: un estado del arte,” *CISDE Journal*, vol. 8, no. 2, pp. 55–72, 2023.
- [3] A. Mena, E. Vázquez, E. Fernández, and E. López, “La inteligencia artificial y su producción científica en el campo de la educación,” *Scielo*, vol. 17, no. 1, pp. 155–164, 2024.
- [4] C. Rivero and C. Beltrán, “La inteligencia artificial en la educación del siglo xxi: avances, desafíos y oportunidades,” *Scielo*, vol. 64, no. 64, pp. 5–7, 2024.
- [5] K. Arellano, H. Arceo, S. Díaz, and Z. Zamudio, “Mejora del tráfico urban en la ciudad de méxico mediante tecnologías avanzadas de ia en semáforos,” *CLIDi*, vol. 11, no. 1, pp. 6–10, 2024.
- [6] F. Viudes, “Revolucionando la política: El papel omnipresente de la ia en la segmentación y el targeting de campañas modernas,” *Más Poder Local*, no. 53, pp. 146–151, 2023.
- [7] M. Abdala and S. Lacroix, “La política de la inteligencia artificial: sus usos en el sector público y sus implicancias regulatorias,” *CIPPEC*, 2019.

- [8] L. Cevasco, J. Corvalán, and E. L. Fevre, *Inteligencia Artificial y trabajo. Construyendo un nuevo paradigma de empleo*, primera ed. Buenos Aires: Astrea, 2019.
- [9] D. Lanzagorta, D. Carrillo, and R. Carrillo, “Inteligencia artificial en medicina: presente y futuro,” *Scielo*, vol. 158, pp. 17–21, 2022.



Tipo de artículo: Artículos de revisión  
Temática: Ingeniería de software  
Recibido: 29/4/2025 | Aceptado: 13/6/2025 | Publicado: 30/9/2025

Identificadores persistentes:  
DOI: [10.48168/innosoft.s24.a287](https://doi.org/10.48168/innosoft.s24.a287)  
ARK: [ark:/42411/s24.a287](https://nbn-resolving.org/ark:/42411/s24.a287)  
PURL: [42411/s24.a287](https://purl.org/42411/s24.a287)

# Identificación y Medición de Deuda Técnica Autoadmitida en Herramientas de Aprendizaje Profundo: Una Revisión Sistemática

## *Identification and Measurement of Self-Technical Debt in Deep Learning Frameworks: A Systematic Review*

Elizabeth Cuatecontzi Cuahutle<sup>1</sup>[\[0009-0008-0531-0354\]](mailto:elizabeth.cc@apizaco.tecnm.mx)<sup>\*</sup>, María Guadalupe Medina Barrera<sup>2</sup>[\[0000-0003-3074-0029\]](mailto:guadalupe.mb@apizaco.tecnm.mx), Raúl Cortes Maldonado<sup>3</sup>[\[0000-0001-8463-1325\]](mailto:raul.cm@apizaco.tecnm.mx), Carlos Bueno Avendaño<sup>4</sup>[\[0000-0003-3203-5884\]](mailto:carlos.ba@apizaco.tecnm.mx)

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México – Instituto Tecnológico de Apizaco. Tlaxcala-México. Código Postal: 90491. [elizabeth.cc@apizaco.tecnm.mx](mailto:elizabeth.cc@apizaco.tecnm.mx)

<sup>2</sup>Tecnológico Nacional de México – Instituto Tecnológico de Apizaco. Tlaxcala-México. Código Postal: 90491. [guadalupe.mb@apizaco.tecnm.mx](mailto:guadalupe.mb@apizaco.tecnm.mx)

<sup>3</sup>Tecnológico Nacional de México – Instituto Tecnológico de Apizaco. Tlaxcala-México. Código Postal: 90491. [raul.cm@apizaco.tecnm.mx](mailto:raul.cm@apizaco.tecnm.mx)

<sup>4</sup>Tecnológico Nacional de México – Instituto Tecnológico de Apizaco. Tlaxcala-México. Código Postal: 90491. [carlos.ba@apizaco.tecnm.mx](mailto:carlos.ba@apizaco.tecnm.mx)

\*Autor para correspondencia: [elizabeth.cc@apizaco.tecnm.mx](mailto:elizabeth.cc@apizaco.tecnm.mx)

### Resumen

La Deuda Técnica en el desarrollo de Software se refiere a las consecuencias de decisiones que priorizan soluciones rápidas sobre soluciones óptimas. Este concepto, introducido por Ward Cunningham en 1992, ha sido ampliamente estudiado para mejorar la calidad del software. En el contexto del aprendizaje profundo, la DT también está presente debido al uso de herramientas que, aunque facilitan la creación de modelos, pueden generar DT y afectar su rendimiento. Con un proceso de tres fases, este trabajo presenta una revisión sistemática de la literatura con el objetivo de identificar los tipos de DT presentes en herramientas de aprendizaje profundo, así como las técnicas empleadas para su identificación y medición. Los estudios revisados muestran que la DT puede aparecer en diversas fases del desarrollo, como el diseño, definición de requisitos, pruebas, documentación, código, algoritmos y compatibilidad. Además, se identifican aspectos adicionales afectados, tales como los datos, los modelos, el conocimiento y la infraestructura. Para identificar la DT, se han utilizado enfoques como el análisis de comentarios en código estático, *pull requests* y *commits*, aplicando técnicas manuales, minería de texto, redes neuronales y algoritmos de procesamiento de lenguaje natural. En cuanto a su medición, predominan los métodos estadísticos. Los hallazgos de esta revisión permiten comprender mejor cómo la DT impacta las herramientas de aprendizaje profundo y ofrecen una base para orientar investigaciones futuras sobre su gestión y mitigación en el desarrollo de sistemas inteligentes.

**Palabras claves:** Aprendizaje profundo, deuda técnica, herramientas de aprendizaje profundo, medición de la deuda técnica, tipos de deuda técnica.

## Abstract

*Technical Debt in software development refers to the consequences of decisions prioritizing quick solutions over optimal ones. This concept, introduced by Ward Cunningham in 1992, has been widely studied to improve software quality. In the context of deep learning, Technical Debt is also present due to the use of tools that, while facilitating model creation, may generate debt and negatively impact performance. Through a three-phase process, this study presents a systematic literature review to identify the types of Technical Debt found in deep learning tools and the techniques used for its identification and measurement. The reviewed studies show that Technical Debt can arise in various development phases, such as design, requirements definition, testing, documentation, source code, algorithms, and compatibility. Other affected aspects include data, models, knowledge, and infrastructure. Several approaches have been used to identify technical debt, such as analyzing comments in static code, pull requests, and commits, applying manual techniques, text mining, neural networks, and natural language processing algorithms. In terms of measurement, statistical methods are predominantly used. The findings of this review provide a better understanding of how Technical Debt impacts deep learning tools and offer a foundation for guiding future research on its management and mitigation in the development of systems within intelligent environments.*

**Keywords:** *Deep learning, deep learning tools, technical debt, types of technical debt, technical debt measurement*

---

## 1. Introducción

La aplicación de tecnologías como la visión por computadora, el procesamiento de lenguaje natural y el reconocimiento de voz ha permitido que la Inteligencia Artificial (Artificial Intelligence, AI por sus siglas en inglés) revolucione y beneficie a múltiples sectores de la sociedad. Para lograrlo, la AI utiliza herramientas como el aprendizaje automático (Machine Learning, ML) y aprendizaje profundo (Deep Learning, DL).

El ML consiste en extraer conocimiento de los datos mediante algoritmos que permiten a la AI imitar la forma en que los humanos aprenden [1]. En esta disciplina, el DL es una subárea basada en redes neuronales, cuya estructura y funcionamiento están inspirados en el cerebro humano [2]. La arquitectura de los modelos de DL está compuesta por unidades interconectadas, llamadas neuronas, organizadas en una capa de entrada, una o más capas ocultas y una capa de salida. Las redes de DL emplean múltiples capas ocultas profundamente anidadas, lo que les permite realizar operaciones avanzadas, como convoluciones. Gracias a esta estructura, las redes DL pueden procesar datos de entrada sin requerir un preprocesamiento extenso, generando automáticamente representaciones útiles para la tarea de aprendizaje [3]. De acuerdo con [4] esta capacidad ha convertido al DL en una herramienta poderosa para resolver problemas complejos, lo que ha impulsado su popularidad en la comunidad científica para el desarrollo de aplicaciones.

Durante la creación de este tipo de aplicaciones, los desarrolladores suelen apoyarse en herramientas y marcos de trabajo (*frameworks*) de código abierto que facilitan su implementación, una evaluación de herramientas populares de DL son presentadas en [2] y [5]. Sin embargo, debido a la falta de conocimiento, la presión del

tiempo, el contexto complejo, entre otros factores, surgen incertidumbres durante su desarrollo lo que lleva realizar suposiciones sobre su uso, lo que podrá producir resultados no esperados [6].

Al igual que en los sistemas tradicionales, Suculley et al. en [7] señalan que, en las herramientas y sistemas de DL, factores como la presión del tiempo incrementan el riesgo de priorizar soluciones rápidas sobre soluciones óptimas. Esta tendencia, que antepone la velocidad de desarrollo a los costos y estándares de calidad conduce a la acumulación de Deuda Técnica (DT). La DT es una metáfora introducida por Ward Cunningham en 1992 para describir los costos a largo plazo asociados con decisiones aceleradas durante el desarrollo de software. La DT tiene una variedad de forma y puede afectar múltiples cualidades del software que incluye per no limita a la legibilidad, el desempeño, y estructura [8]. En el contexto de ML, en [7] se abordan los desafíos y costos ocultos relacionados con la construcción y mantenimiento de sistemas de aprendizaje automático, argumentan que estos sistemas pueden acumular DT, ya que enfrentan problemas de mantenimiento típicos del código tradicional y desafíos específicos del ML, como la dependencia de datos, la configuración de los datos y la representación del modelo.

Con una adaptación del proceso de tres fases propuesto por Brereton et al. [9] y Kitchenham et al. [10], este trabajo presenta los resultados de una Revisión Sistemática de la Literatura (RSL) sobre las prácticas actuales en la identificación y medición de la DT en herramientas de DL. El objetivo es identificar los tipos de DT más comunes, los procesos, técnicas y herramientas utilizadas para su detección, así como los criterios de medición aplicables.

Los resultados de esta revisión motivan futuras investigaciones sobre el impacto de la DT en herramientas DL para desarrollar sistemas DL aplicables en la solución de problemas en diversos sectores de la sociedad.

Este documento se organiza en cuatro secciones. En la sección dos, se expone la motivación que dio origen a esta RSL. La sección tres detalla el proceso metodológico de la revisión. En la sección cuatro, se discuten los resultados obtenidos y se propone una metodología para un estudio más amplio sobre la DT en herramientas de DL y su impacto en aplicaciones de DL.

## 2. Motivación

Las necesidades tecnológicas en el desarrollo de las ciencias y en áreas como la medicina, la educación, la manufactura y la ciberseguridad son cada vez más diversas, lo que hace que la incorporación de tecnologías emergentes como la AI, el ML y el DL sea de gran utilidad.

El DL ha contribuido con soluciones innovadoras en áreas como el procesamiento de lenguaje natural, el

reconocimiento del habla y la visión por computadora. En DL se han desarrollado métodos basados en datos que emplean múltiples capas de unidades interconectadas (neuronas) para aprender patrones y representaciones a partir de datos. Una revisión sobre modelos de DL y sus aplicaciones es presentada en [11], mientras que [4] presentan un análisis del progreso y los desafíos actuales del DL.

La literatura también reporta un gran número de aplicaciones de sistemas basados en DL. Por ejemplo, en [2], [12] y [13] presentan una revisión del uso del DL en sistemas de salud, destacando aplicaciones clave como el diagnóstico por imágenes, el procesamiento de señales y el análisis de texto médico. En sus trabajos, señalan desafíos como la falta de datos, la calidad de los resultados, problemas éticos, la interpretabilidad de los modelos y la escalabilidad. Además, abordan cuestiones como la integración de modelos en entornos clínicos reales y la interoperabilidad tecnológica.

Por otro lado, para apoyar el desarrollo de sistemas de DL, se han diseñado y utilizado herramientas que integran bibliotecas de funciones y algoritmos de DL, que se aplican a una amplia variedad de contextos científicos y tecnológicos. Una evaluación integral de herramientas populares de DL (TensorFlow, MXNet, PyTorch, Theano, Chainer y Keras) en arquitecturas como CNN, R-CNN y LSTM es presentada en [2]. Su estudio evaluó la precisión, el tiempo de entrenamiento y consumo de recursos de cada una. Así mismo, en [5] se ofrece un análisis de las herramientas y marcos de trabajo más recientes que facilitan la creación, implementación y expansión de modelos de DL, evalúan las capacidades de marcos como Tensor Flow, Pytorch y Keras. Por su parte, en [14] evaluaron el rendimiento de modelos de aprendizaje automático y herramientas de DL como PyTorch, Keras, TensorFlow, Caffe y Theano. Destacan que, aunque el uso de estas herramientas está ampliamente difundido, es necesario evaluar su calidad, los desarrolladores de sistemas DL pueden asumir supuestos sobre el uso y desempeño de estas herramientas, lo que podría derivar en vulnerabilidades, fallos, inconsistencias o un incremento en los costos en las aplicaciones de DL.

Uno de las primeras investigaciones sobre la caracterización de la DT en herramientas de DL es realizada y presentada en [15]. Sin embargo, el creciente desarrollo de sistemas basados en DL y el uso extendido de estas herramientas motivan la necesidad de actualizar y profundizar estos hallazgos. Por su parte, Bathia et al. [16] afirma que a pesar de los esfuerzos recientes para comprender la introducción y eliminación de SATD en herramientas de aprendizaje profundo, todavía no se sabe mucho sobre la difusión y evolución de la deuda técnica en los sistemas basados en ML utilizando tales herramientas.

De igual relevancia y en relación con la identificación y mitigación de la DT es de suma importancia estudiar la aplicación de prácticas de ingeniería de software para el ML. Nascimento et al, en [17] analizan como la ingeniería de software ha sido aplicada en el desarrollo de la AI y el ML, por su parte Serban et al. [18] destacan la importancia de las prácticas de ingeniería de software y publican una guía práctica para el desarrollo de

software con componentes de aprendizaje automático.

### 3. Metodología

Con una adaptación del proceso de tres fases propuesto por Breton et al. [9] y Kitchenman et al. [10], se realizó una RSL sobre la Identificación y Medición de la Deuda Técnica en Herramientas de Aprendizaje Profundo. La figura 1 muestra la metodología que se siguió en este trabajo.



Figura 1. Proceso de RSL sistemática de la literatura. Adaptación de la propuesta de [9] y [10]

Con esta propuesta se realizó la búsqueda de artículos científicos en bases de datos académicas como IEEE Xplore, ACM Digital Library, Science Direct, Springer Link, Google Scholar y Arxiv, para ello se inició definiendo la cadena de búsqueda utilizando palabras clave relacionadas con los términos de "deuda técnica", "herramientas de aprendizaje profundo", "categorías o tipos de deuda técnica" y "medición de deuda técnica". Los criterios de inclusión se centraron en estudios que abordaran explícitamente la caracterización, identificación y medición de la DT en herramientas de aprendizaje profundo, finalmente se obtiene una síntesis con los resultados de esta Revisión.

#### *Fase 1. Planeación de la RSL.*

*Preguntas de investigación.* Se pretende identificar trabajos que estudian la presencia de DT en herramientas de DL, los tipos que pueden existir, características, etapa de desarrollo en que ocurren, y que herramientas de aprendizaje profundo se presentan y con qué frecuencia. De igual forma se tiene interés en identificar procesos, técnicas, herramientas y recursos para identificarla y medirla.

Así las preguntas que guían esta RSL son:

Pregunta 1. ¿Cuáles son los tipos de deuda técnica de mayor presencia en herramientas de aprendizaje profundo?

Pregunta 2. ¿Qué proceso y herramientas se utilizan para identificar y medir la DT en DL a través de un estudio descriptivo?

*Protocolo de búsqueda.* Para dar respuesta a estas preguntas se forma una cadena de búsqueda con las palabras clave: Deuda Técnica, herramientas de aprendizaje profundo y criterios de medición.

*("Technical Debt.°R "TechDebt.AND charac\*") AND ("Deep Learning Frameworks.°R "DL Frameworks") AND (Measurement)*

Esta se aplica en los motores de búsqueda de las principales Bibliotecas Digitales científicas como la IEEE Xplore, ACM Digital Library, Springer Link, Science Direct, Google Académico y ArXiv.

*Criterios de inclusión y exclusión.* En la RSL se trata de identificar trabajos relevantes sobre el estado actual del estudio de la DT en herramientas de DL. Por lo que se consideran reportes de conferencias, congresos y artículos de los últimos cinco años, además se busca que los trabajos sean resultado de investigaciones primarias realizadas por profesionales en centros de investigación y/o universidades. Especialmente trabajos que documenten aspectos de presencia DT, y su categorización de tipos de DT presentes en herramientas de DL, o bien que informen de herramientas o técnicas que permitan identificar y medir su presencia e impacto. Se considera publicaciones anteriores a este periodo en el caso de trabajos cuya aportación ha tenido un impacto relevante en el tema de DT y herramientas de DL. Los trabajos que no se consideran en esta RSL son aquellos que no sean primarios o trabajos informales como blogs de autores o instituciones no reconocidos, artículos no sujetos a revisión por pares o reportes del desarrollo de sistemas de DL.

*Fase 2. Ejecución de la RSL.*

*Selección de los estudios relevantes.* En cada Biblioteca Digital se aplicó la cadena de búsqueda definida en el protocolo de la RSL, como resultado de esta búsqueda se obtuvieron 244 documentos relacionados, cabe señalar que se realizaron ajustes para cumplir con la sintaxis del motor de búsqueda. A continuación, se realiza una revisión general en los metadatos de los artículos encontrados y se seleccionan solo aquellos que cumplen con los criterios de inclusión definidos.

*Registro de la extracción de datos del documento investigado.* Con la información de los trabajos seleccionados,

se realiza una base de datos simple con los siguientes campos como elementos: Título del artículo; año, autor(s); biblioteca digital; objetivo(s) de la investigación, metodología, conceptos relevantes utilizados para describir el dominio del tema; resultados y trabajos futuros propuestos.

*Sintetizar la información.* Para una mejor comprensión de la relación de los trabajos seleccionados y su impacto con el tema de interés, se analizan y se crea una síntesis, identificando la información que da respuesta a las preguntas de investigación que se plantearon para esta RSL y también información adicional relevante que aporte al tema.

*Fase 3. Documentar la RSL.*

*Escribir el informe.* Se presenta el informe de la RSL de la literatura realizada con las preguntas planteadas.

Pregunta 1. ¿Cuáles son los tipos de deuda técnica de mayor presencia en las herramientas de aprendizaje profundo?

Para identificar los tipos de DT en software, [19] analizaron comentarios en el código fuente de proyectos de código abierto alojados en repositorios como GitHub. Estos comentarios introducidos deliberadamente por los propios desarrolladores hacen referencia a observaciones sobre tareas pendientes, errores o posibles fallas que ocurren en distintas fases del desarrollo como la codificación o las pruebas. Generalmente, estos problemas surgen de la adopción de soluciones rápidas o temporales, lo que representa DT auto admitida. Por su parte, [20] clasificaron y cuantificaron diferentes tipos de DT auto admitida mediante la extracción y análisis de comentarios en el código. Identificaron cuatro tipos principales: deuda de diseño, deuda de defectos, deuda de documentación y deuda de pruebas.

De forma similar, [15] exploraron la presencia de DT en herramientas de DL de código abierto, para ello, extrajeron comentarios realizados por los desarrolladores en diferentes etapas, incluyendo problemas de implementación, pull requests y commits. Este enfoque les permitió identificar la existencia de DT auto admitida en herramientas DL. En este trabajo, los investigadores analizaron herramientas populares como TensorFlow, Keras, PyTorch, Caffe, MXNet, CNTK y DL4J. En su estudio, encontraron una cantidad significativa de DT auto admitida, incluyendo diseño subóptimo, defectos sin resolver, documentación incompleta, deficiencias en las pruebas e implementación incompleta de métodos requeridos. Además, identificaron DT de algoritmo, refiriéndose a ella como las implementaciones subóptimas de la lógica algorítmica de los modelos de DL y módulos de redes neuronales. También detectaron DT de compatibilidad, asociada con dependencias inmaduras entre proyectos, lo que obliga a utilizar soluciones temporales para garantizar la funcionalidad. Posteriormente, [21] realizaron un estudio sobre la introducción y eliminación de diferentes tipos de DT en herramientas de DL.

En el trabajo realizado por [22], centraron su investigación en la refactorización de código, haciendo énfasis en la relación entre el diseño y la fase de pruebas para mejorar el desempeño y alcanzar el requerimiento. Por su parte, en [6] destacaron la necesidad de abordar la DT auto admitida en diversas fases del desarrollo, incluyendo requisitos, diseño, codificación, algoritmos, pruebas y documentación. También en [8] reconocieron la presencia de DT en las fases de requerimientos, diseño, pruebas y documentación.

Así mismo, [16] estudiaron la DT auto admitida e identifican DT de código, de diseño, de documentación de defectos, de pruebas y de requerimientos, las cuales afirma ocurren tanto en software tradicional y de configuración que es específica de sistemas ML. La Tabla 1 resume los tipos de DT auto admitida en herramientas de DL, identificados en distintas fases del desarrollo y reportados por diversos investigadores.

En la realización de esta RSL también se identificaron trabajos que analizan tipos específicos de DT en ML y DL. Por ejemplo, [22] examinan la relación entre la deuda técnica de código y la refactorización. Proponen una taxonomía jerárquica de refactorizaciones en sistemas de aprendizaje automático, considerando aspectos como la reorganización del código, mejoramiento del desempeño, migración de código, eliminación de código duplicado, mejoras en la seguridad, problemas de configuración, comprensión del código y reutilización del código, entre otros. Los autores ofrecen recomendaciones y mejores prácticas para desarrollar sistemas de DL, para minimizar la acumulación de DT.

amssymb

Tabla 1. Tipos de DT auto admitida en herramientas de DL.

Estudio	Diseño	Requisitos	Documen- tación	Pruebas	Defectos	Código	Algoritmo	Compati- bilidad
[15]	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
[23]	✓			✓		✓		
[6]	✓	✓	✓	✓		✓	✓	
[21]	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
[8]	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
[16]	✓	✓	✓	✓	✓	✓		

Tabla 2. Problemáticas identificadas en herramientas y sistemas DL, que inducen DT

[6]	[8]	[24]	[25]
Problemas de: Configuración del modelo y los datos. Definición del Tensor y variable Diseño Varias.	Problemas de: Dependencia de datos Dependencia de código Escalabilidad Confiabilidad Desempeño	Problemas de: Infraestructura. Hardware APIS para la integración. Ciclo de vida del desarrollo de DL Dato Modelo Entrenamiento Inferencia Flujo de trabajo	Categorías de problemas relacionados con: El procesamiento de datos. Arquitectura y configuración del modelo Entrenamiento del modelo Resultados de la predicción Inferencia de los resultados. Entorno de ejecución Visualización de los datos.

También han surgido investigaciones que profundizan en el estudio de la DT en herramientas de DL, considerando la naturaleza específica de estos sistemas. La tabla 2 muestra los estudios relacionados, mismos que se describen de forma breve.

Por ejemplo, [8] estudian la DT auto admitida en ML, incluyendo a DL, y reconocen su presencia en diversas fases del desarrollo, como la definición de requerimientos, las prácticas de codificación, la implementación, la deficiencia de pruebas, la falta de buenas prácticas de diseño y la documentación inadecuada. Proponen una taxonomía para el estudio de la DT auto admitida, organizada en nueve grupos: dependencia de datos, dependencia de código, concientización, modularidad, configuración, deuda de escalabilidad, confiabilidad, desempeño y eliminación de código duplicado. Cada grupo incluye subtipos que, en conjunto, forman lo que los autores denominan las 23 sombras de la DT auto admitida en software de ML.

Otros afirman que durante el desarrollo de sistemas DL, surgen hipótesis relacionadas con las herramientas de DL, [6] sostiene que las suposiciones son conocimientos en el desarrollo de software que se dan por hecho o se aceptan como verdaderos sin evidencia, la falta de conciencia sobre estas suposiciones puede provocar problemas críticos como vulnerabilidades, fallos, inconsistencias y aumento de costos. Estas suposiciones se clasifican en categorías como configuración y contexto, y variable, diseño y miscelánea, esta última abarca aspectos como conjuntos de datos, pruebas, errores y fallos, usuarios, costo-beneficio y rendimiento. Enss [14] destacan que los *stakeholders* (partes interesadas) en el desarrollo de herramientas de DL suelen hacer suposiciones relacionadas con decisiones de diseño, requisitos y DT. Estas decisiones pueden resultar no válidas, lo que provoca fallos en

los sistemas DL.

Otro estudio es el presentado por [24], quienes, tras analizar manualmente comentarios en proyectos de código abierto desarrollados con herramientas de Deep Learning como TensorFlow y PyTorch, crean una taxonomía específica de Deuda Técnica (DT) auto admitida. En su propuesta, identifican dos categorías principales relacionadas con aspectos de infraestructura y el ciclo de vida del desarrollo en Deep Learning. La categoría de infraestructura abarca aspectos vinculados al hardware necesario para ejecutar modelos de DL y a las API para la integración de herramientas en el proceso de desarrollo. También incluye la compatibilidad entre diferentes herramientas y la optimización del uso de recursos computacionales. Por otro lado, la categoría del ciclo de vida del desarrollo comprende tareas y desafíos en distintas etapas del proceso de creación de sistemas de DL. Estas etapas incluyen: definición de datos, diseño y configuración del modelo, configuración del proceso de entrenamiento, inferencia (tratamiento y análisis de los resultados generados durante la ejecución del modelo) y el diseño y optimización del flujo de trabajo completo, desde la entrada de datos hasta la salida de resultados. Finalmente, los autores concluyen que cuando estos desafíos se abordan con soluciones subóptimas, se genera una DT específica de DL, lo que puede afectar la calidad, mantenibilidad y escalabilidad de los sistemas desarrollados.

En esta RSL también se observó constante referencia a los desafíos enfrentados en el desarrollo de sistemas de DL, por lo que se incluyeron estudios relacionados con los problemas de los desarrolladores al crear y mantener estos sistemas. Por ejemplo, [25] analizan publicaciones y preguntas que los desarrolladores realizan en sitios como *Stack Overflow*, identifican siete categorías y 63 subcategorías de problemas relacionados con los marcos de DL TensorFlow, PyTorch, y Theano. Los autores encontraron que las dificultades en la implementación representan la mayoría de las preguntas formuladas por los desarrolladores (97.7%), lo que sugiere problemas en la estabilidad de las aplicaciones construidas con estos marcos. Estos defectos reflejan DT acumulada, lo que impacta negativamente en la calidad general de los proyectos de DL. Las categorías son: 1) Problemas relacionados con el procesamiento de datos, 2) dificultades con la arquitectura y configuración del modelo, 3) desafíos encontrados durante la fase de entrenamiento de los modelos, 4) problemas que surgen al hacer predicciones con los modelos entrenados, 5) dificultades relacionados con la evaluación del rendimiento y la precisión de los modelos, 6) dificultades asociados con el entorno en el que se ejecutan los modelos, incluyendo dependencias y compatibilidad, y 7) preocupaciones sobre la visualización de datos, el rendimiento del modelo y los resultados.

## Presencia de DT Autoadmitida en Herramientas DL

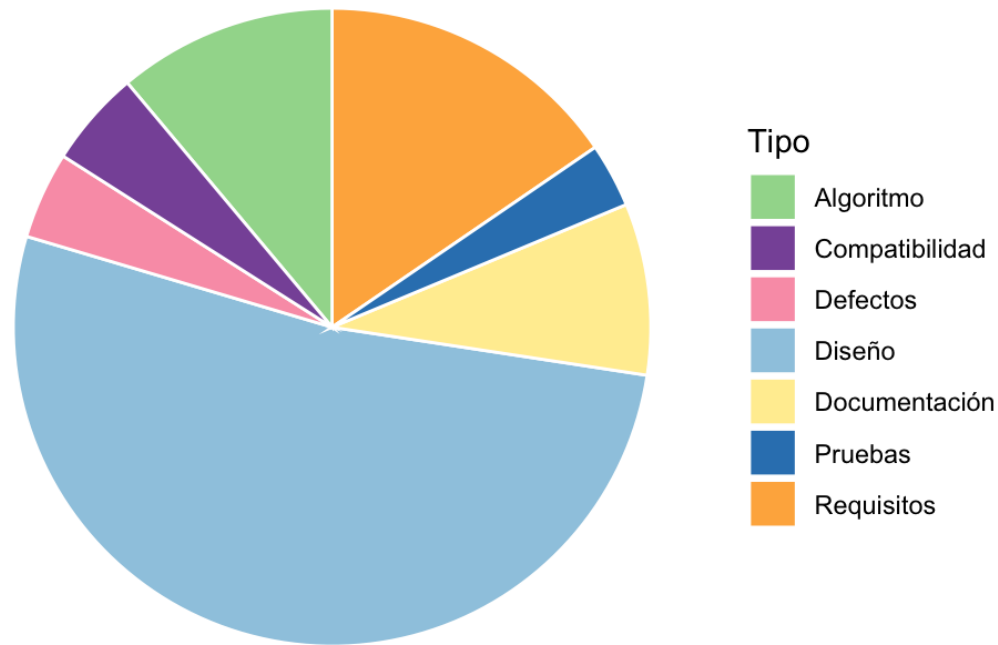


Figura 2. Distribución de la DT en DL según su tipo. Elaboración propia con datos de [15] y [21]

En relación con la distribución de la DT en las herramientas de DL, [15] analizaron comentarios en repositorios de código en GitHub e identificaron la presencia de DT auto admitida en herramientas de DL como Tensor Flow, Keras, Caffe, PyTorch, MXNet, CNTK y DL4J. La Figura 2 muestra la evolución de la DT en los periodos analizados, destacan que la deuda de diseño es la más prevalente durante el proceso de desarrollo, seguida por la deuda de requisitos y la deuda de algoritmo. Posteriormente [21] encontraron que la DT de requisitos, seguida por la DT de diseño, son las que se eliminan con mayor frecuencia. Por el contrario, la DT de documentación y la DT de pruebas son las que menos se remueven, mientras que la DT de compatibilidad y la DT de pruebas presentan los procesos de eliminación más lentos. La Tabla 3 resume la ocurrencia de los distintos tipos de DT en los marcos de DL analizados, proporcionando una visión comparativa según su frecuencia y persistencia en el tiempo.

Pregunta 2. ¿Qué procesos y herramientas se utilizan para identificar y medir la DT en DL a través de un

estudio descriptivo?

Para identificar la deuda técnica auto admitida los trabajos revisados analizan comentarios que los desarrolladores realizan en el código, en los commits o en pullrequest de las herramientas, en plataformas de preguntas y respuestas. Para medir su presencia estudios proponen el uso métricas cuantitativas basadas en el análisis del código estático, mientras que otros sugieren enfoques cualitativos, como revisiones de código, hay incluso propuestas de herramientas de minería texto y técnicas de procesamiento de lenguaje natural (PLN). La tabla 4 resume las fuentes, mecanismos y herramientas y/o técnicas que los investigadores han utilizado para identificar la DT en herramientas DL.

Tabla 3. Presencia de la deuda Técnica en herramientas de aprendizaje profundo. Puede observarse que CNTK presentó el mayor porcentaje de DT en los dos años estudiados.

<b>Año</b>	<b>2020</b>		<b>2021</b>	
<b>Tipo de DT</b>	<b>Mayor</b>	<b>Menor</b>	<b>Mayor</b>	<b>Menor</b>
Diseño	CNTK - 65.27 %	Keras - 24.07 %	CNTK - 76.33 %	Caffe 48.52 %
Requisitos	DL4J - 20.67 %	Caffe - 5.62 %	Keras - 16.75 %	CNTK - 7.04 %
Documentación	Caffe - 15.62 %	Keras - 0.00 %	Caffe - 20.00 %	Keras - 0.00 %
Pruebas	Tensorflow - 7.70 %	Keras - 0.00 %	Tensorflow - 5.12 %	Keras - 0.52 %
Defectos	MXNet - 8.47 %	Keras - 1.85 %	CNTK - 5.54 %	MXNET - 3.01 %
Algoritmo	Keras - 31.48 %	Tensorflow - 7.09 %	Keras - 14.14 %	DL4J - 4.82 %
Compatibilidad	Keras - 35.18 %	DL4-J 0.21 %	Caffe - 10 %	DL4-J 0.0 %

En el estudio realizado por [15] extrajeron comentarios del código fuente, *commits* y *pullrequest* en herramientas de aprendizaje profundo como *TensorFlow*, *Keras*, *DL4J*, *Caffe*, *PyTorch*, *MXNet* y *CNTK*, accedendo a repositorios alojados en *GitHub*. Para este proceso, emplearon herramientas como *srCML* y el módulo *tokenize* de la librería estándar de *Python*, que proporciona un escáner léxico para identificar comentarios en el código. Con los datos recolectados, realizaron una revisión y clasificación manual en cinco categorías: deuda de diseño,

deuda de defectos, deuda de requerimientos, deuda de documentación y deuda de pruebas. La propuesta de estas categorías fue tomada de [20]. Este proceso de análisis de comentarios incluyó varias iteraciones, evaluadas cualitativamente por varios investigadores para garantizar la coherencia en la clasificación. Para medir el grado de acuerdo entre los evaluadores, los autores utilizaron la métrica estadística del coeficiente de Cohen's kappa. El análisis del código abarcó distintos niveles de granularidad, incluyendo comentarios en métodos, clases y archivos que contenían metainformación de la herramienta. Un ejemplo de este análisis es el, por ejemplo, el *commit*:

“TODO: this option should be abstracted, if we decide to generalize this training master” - [from DL4J]

“TODO: make it public?” - [from Keras],

indica qué, si bien la implementación actual ha cumplido las funcionalidades explícitas en el requisito, el diseño del código no es óptimo.

Posteriormente, [21] extienden su estudio para identificar la frecuencia de ocurrencias y eliminación de DT auto admitida en siete herramientas de DL, sus hallazgos indican que durante el proceso de desarrollo la deuda de diseño es la que más se introduce, la deuda de requisitos es la que más se elimina, y son los propios desarrolladores quienes eliminan la DT. Para su identificación utilizan un algoritmo basado en procesamiento de lenguaje natural (PLN) para identificar automáticamente los comentarios que indican DT. La clasificación la realizaron de forma manual, en dos iteraciones utilizando el enfoque *card sorting* de Spencer (2009). En este trabajo también evalúan el desempeño de *SATD-Detector*, que es una herramienta para la clasificación de texto con PLN desarrollada por [26] para identificarla y la cual se entrenó para ello.

Por su parte [6], al analizar supuestos auto admitidos en herramientas de DL, para su identificar su distribución, clasificación e impacto, utilizan comentarios de código de nueve herramientas populares de herramientas DL alojadas de *GitHub*, utilizan herramientas de *Visual Studio* y librerías de Python para recolectar los comentarios de código relacionados, utilizaron términos relacionados con supuestos como *assumption*, *assumptions*, *assume*, *assuming*, *assumed*. Para la clasificación una revisión cualitativa por varios autores y en diferentes rondas, utilizaron y coeficiente de Cohen Kappa para medir la concordancia entre los evaluadores. Para el análisis de datos utilizaron estadística descriptiva.

En el caso del estudio presentado por [8] para el análisis de la DT auto admitida en proyectos ML escritos en Python, minan comentarios de sistemas ML en GitHub, emplearon Boa [27], un lenguaje diseñado específicamente para extraer comentarios de repositorios de software identifica cuando un comentario ha sido introducido o eliminado en las actualizaciones del código. Con una inspección manual clasifican comentarios que representan DT auto admitida y los que no. También utilizaron la herramienta de clasificación SATD-Detector [26]

entrenado con palabras clave asociadas a la categorización, y aplicaron el coeficiente Kappa de Cohen para medir el grado de acuerdo entre evaluadores. La clasificación se realizó manualmente tras definir un esquema que considera una taxonomía propuesta por [7] y nuevamente aplicaron coeficiente Cohen Kappa.

En la propuesta de [25] analizan publicaciones en sitios de comunidades de desarrolladores, en este *Stack Overflow*. Identifican publicaciones que se relacionan con problemas de implementación en herramientas de DL, en este caso con TensorFlow, PyTorch y Theano. El estudio incluyó la recolección de datos, seguida de un proceso de refinamiento y obtención de características, para la construcción de una taxonomía; realizan una clasificación y predicción utilizando modelos de Redes Neuronales.

Tabla 4. Técnicas y herramientas para identificación y análisis de DT en herramientas de DL.

Estudio	Fuente	Datos	Técnicas y/o herramientas de extracción y análisis de DT
[15]	Repositorios GitHub de herramientas DL de TensorFlow, Theano, Pytorch, Caffe, MXNet, Keras, CNTK, DL4J, y Paddle Paddle.	Extracción de comentarios en código fuente	Herramientas de extracción: srcML, Módulo Tokenize de Python. Clasificación: Manual realizada por varios autores en varias iteraciones. Análisis y validación: Coeficiente de kappa de Cohen y métricas estadísticas.
[21]		Extracción de archivos de comentarios en versiones sucesivas de las herramientas de DL	Clasificación: Manual con técnica Card Sorting, evalúan algoritmos basados en NLP y herramienta SAT-Detector
[6]	Repositorios en GitHub de TensorFlow, Theano, Pytorch, Caffe, MXNet, Keras, CNTK, DL4J, y Paddle Paddle.	Extracción y análisis de comentarios que indican deuda técnica auto admitida.	Herramientas de extracción: Visual Studio y herramientas de Tokenización de Python Clasificación: Manual por autores Análisis y validación: Revisión cualitativa, Coeficiente de kappa de Cohen y Estadística descriptiva.

Estudio	Fuente	Datos	Técnicas y/o herramientas de extracción y análisis de DT
[8]	Repositorios GitHub de sistemas DL	Extracción de comentarios, que indican deuda técnica auto admitida	Herramientas de extracción: Lenguaje BOA para minar datos. Clasificación: Manual para identificar SAT y SAT-Detector de la que no lo es. Clasificación manual para clasificar de acuerdo con la taxonomía. Análisis y validación: Coeficiente de kappa de Cohen
[25]	Sitio web Stack Overflow	Publicaciones relacionadas con problemas de implementación en herramientas DL de Tensorflow y Pytorcg	Extracción: Manual Clasificación: Modelos de Redes Neuronales
[14]	Herramientas DL en GitHub	Comentarios de código, pullrequest y commits relacionados con supuestos.	Clasificación y análisis con modelos no transformadores (Máquinas de Vectores de Soporte y Árboles de Decisión), el modelo ALBERT y modelos de solo codificador.

Recientemente, [14] clasifican suposiciones de decisiones de diseño requisitos y deuda técnica en el desarrollo en herramientas de DL, a partir de la colección de un conjunto de datos de comentarios de supuestos desde el punto de vista de desarrolladores y usuarios. Los datos son recolectados de fuentes como comentarios de código, *pullrequest* y *commits* alojados repositorios de las herramientas DL en GitHub. En su primer estudio analizaron y clasificaron los supuestos de forma manual; en este estudio tras la construcción de un conjunto de datos mayor y la definición de un esquema de clasificación, exploran el desempeño de cuatro modelos no transformadores (ejemplo, Máquinas de Vectores de Soporte, Árboles de Decisión), el modelo ALBERT (a *lite Bidirectional Encoder Representations from Transformers*) y tres modelos de solo codificador (ejemplo, ChatGpt, Claude y

Gemini). Observaron que el modelo ALBERT alcanza el mejor desempeño en la clasificación. ALBERT es un modelo de PLN desarrollado por Google [28].

## 4. Discusión

Con la revisión sistemática de la literatura realizada se encontraron estudios relevantes sobre la identificación y medición de DT en herramientas de DL. Los hallazgos permitieron identificar los tipos de DT presentes en estas herramientas y, en algunos casos, analizar su incidencia. Además, se identificaron métodos y herramientas utilizados para su detección y medición.

Los estudios muestran que la DT en el contexto de las herramientas y sistemas de DL puede ocurrir en diversas etapas de su desarrollo y también en alguno de sus componentes. Los estudios muestran que la DT suele ocurrir en las fases de diseño, requisitos, código, pruebas y documentación, determinándose como los tipos de deuda en DL. Entre estos, la DT de mayor presencia es la de diseño, la cual puede ocurrir por diversos factores como un diseño modular deficiente o rígido que dificulta la incorporación de nuevas funcionalidades o bien, su mejoramiento.

Otros estudios abordan aspectos específicos del DL, como la DT de compatibilidad, esta ocurre cuando las herramientas o bibliotecas no son fácilmente actualizables ni compatibles entre versiones o con versiones futuras. También se encuentra DT de algoritmo, que surge al implementar un algoritmo subóptimo sin previsión de necesidades futuras, o inadecuadas para redes profundas.

En las herramientas de DL también se encuentra DT que se relaciona con los datos, los modelos, la infraestructura o incluso el conocimiento del modelo y la herramienta. La DT en datos puede ser originada por sesgos, dependencia de las fuentes de obtención o falta de trazabilidad. La DT en los modelos, puede ocurrir cuando los parámetros de este no se ajustan u optimizan correctamente para el problema en cuestión. La DT en infraestructura puede deberse a la dependencia del hardware o a la integración con los sistemas de software. La DT de conocimiento puede generarse por el mismo desconocimiento de los desarrolladores sobre los modelos o falta de formación en nuevas tecnologías.

La principal fuente de obtención de datos para el estudio de la DT son los comentarios que desarrolladores realizan directamente en el código o cuando realizan acciones de pullrequest o commits. Por lo que se le ha denominado DT auto admitida. Estos comentarios son ubicados en los repositorios de las herramientas como PyTorch, Keras, Caffe, Theano, etc., que al ser de código abierto es posible acceder a ellos. Otra fuente de obtención de datos son los comentarios que usuarios de las herramientas de DL realizan en sitios de las propias herramientas o en sitios web como *Stackoverflow*.

Para extraer los comentarios, se realiza manualmente o bien, se utilizan herramientas automáticas, para su clasificación se identificó que en varios de los trabajos aplican técnicas manuales, pero en trabajos recientes se han aplicado herramientas de minería de texto, redes neuronales e incluso algoritmos de procesamiento de lenguaje natural. En cuanto a la medición de la DT, se observó la aplicación de métodos cuantitativos y cualitativos con técnicas estadísticas

Es importante mencionar que durante la revisión se observó la existencia de diversos e importantes investigaciones relacionados con el estudio de la DT auto admitida y su caracterización. Sin embargo, muchos de estos estudios se enfocaron al software tradicional, pero existen muy pocos en los sistemas de aprendizaje automático y, en menos cantidad, se ubican los estudios relacionados con la identificación y medición de la DT en herramientas de DL. En [16] realizan un estudio sobre DT auto admitida en software tradicional y en software de ML que afirman que la DT aparece en una etapa más temprana del proceso de desarrollo.

Lo anterior podría deberse a que desde su surgimiento en 1990 el concepto propuesto por Ward Cunningham, ha sido ampliamente estudiado en Ingeniería de Software y metodologías ágiles. Sin embargo, aunque el DL surgió en los años 40 con las primeras redes neuronales, este ha ganado relevancia en los últimos 15 años [29], además sus tecnologías e investigaciones evoluciona rápidamente, tanto en aspectos de infraestructura, modelos y herramientas, por lo que consideramos que, si bien hay avances, aún se está en proceso de definir claramente el concepto DT en DL y como medirla, para entonces poder vislumbrar su impacto. Otro aspecto importante a considerar y que no facilita su análisis es que la deuda no solo es código, también se involucran datos y modelos, incluso infraestructura, su interacción pueda ocultarla, Sculley et al. [7], además la naturaleza no determinista de los sistemas ML complica la aplicación de la Ingeniería de Software Giray [30], Nascimento et al. [17] investigaron como la ingeniería de software ha sido aplicada en el desarrollo de sistemas de ML e identificaron los retos y prácticas aplicables a las necesidades profesionales. Podemos afirmar que, para software tradicional, existen métricas bien definidas para evaluar la DT, y en DL como hemos observado se estan explorando. Nos damos cuenta también que muchas investigaciones sobre DT provienen de la comunidad en Ingeniería de Software y poco de las comunidades de Inteligencia Artificial y Aprendizaje Automático, pareciera ser que existe un puente que separa objetivos y metodologías que permitan identificar, definir, medir y mitigar esta deuda.

Con base en lo anterior podemos visualizar áreas de oportunidad como:

1. Dado que, la fuente de información principal para el estudio de la DT en DL proviene de comentarios que son introducidos deliberadamente por desarrolladores, misma que es conocida como DT auto admitida, consideramos pertinente un área futura de investigación, enfocada al estudio de la Deuda Técnica Auto Admitida en Herramientas de Aprendizaje Profundo, concepto que daría pauta para estudiar su origen,

caracterización, evolución e impacto.

2. Consideramos como área de oportunidad explorar herramientas de clasificación y predicción usando PLN, ya que ha mostrado resultados importantes en el análisis y predicción de textos; y dado que la DT auto admitida tomo como base el análisis de comentarios, una oportunidad de investigación es el estudio, desarrollo y aplicación una metodología basada en PLN que contribuyan a las existentes.
3. Finalmente, dado el crecimiento del desarrollo de sistemas basados en DL y su impacto en la sociedad, es crucial continuar investigando cómo la DT afecta su evolución y calidad. Los resultados obtenidos muestran avances relevantes, nos damos cuenta de la importancia y pertinencia de esta revisión pues puede sentar las bases para futuras investigaciones que evalúen el impacto de la DT en el desarrollo de sistemas DL y su repercusión en la sociedad.

## Conclusiones

Esta revisión sistemática identificó enfoques para detectar y medir Deuda Técnica en herramientas de Aprendizaje Profundo, destacando que para su análisis se recurre a la extracción de comentarios en repositorios de GitHub, mismos que realizan los desarrolladores.

La clasificación más usada es la de [20], que distingue Deuda Técnica en diseño, defectos, documentación y pruebas. Sin embargo, estudios recientes en herramientas de Aprendizaje profundo incluyen categorías como Deuda Técnica de algoritmo, compatibilidad, dependencia de datos, modelo e infraestructura.

Para su medición, se observó el uso de métricas cuantitativas y enfoques cualitativos como revisiones de código, minería de texto y Procesamiento de Lenguaje Natural.

Como trabajo futuro, se plantea la oportunidad de realizar un estudio descriptivo de la DT en DL y con una metodología con enfoque en ingeniería de software y con el uso de algoritmos y herramientas de PLN, para en un futuro evaluar el impacto de la DT en aplicaciones DL en ciencia y sociedad.

## Agradecimientos

Expreso mi profundo agradecimiento a Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Apizaco por brindarme la formación académica y los recursos necesarios para el desarrollo de esta investigación, también por las facilidades para poder dedicar tiempo a este proyecto, así como a mis colegas por su colaboración y valiosas contribuciones. Finalmente expreso mi agradecimiento a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación en México por su respaldo y compromiso con la innovación, lo que ha hecho posible

la realización de este trabajo.

## Contribución de Autoría

Elizabeth Cuatecontzi Cuahutle: [Conceptualización](#), [Metodología](#), [Investigación](#), [Software](#), [Validación](#), [Redacción - borrador original](#). María Guadalupe Medina Barrera: [Conceptualización](#), [Metodología](#), [Análisis formal](#), [Recursos](#), [Visualización](#), [Supervisión](#), [Administración de proyectos](#), [Adquisición de fondos](#), [Curación de datos](#), [Escritura](#), [revisión y edición](#). Raúl Cortes Maldonado: [Conceptualización](#), [Metodología](#), [Análisis formal](#), [Recursos](#), [Visualización](#), [Supervisión](#), [Administración de proyectos](#), [Curación de datos](#), [Escritura](#), [revisión y edición](#). Carlos Bueno Avendaño: [Conceptualización](#), [Metodología](#), [Análisis formal](#), [Recursos](#), [Visualización](#), [Supervisión](#), [Administración de proyectos](#), [Curación de datos](#), [Escritura](#), [revisión y edición](#).

## Referencias

- [1] R. Y. Choi, A. S. Coyner, J. Kalpathy-Cramer, M. F. Chiang, and J. P. Campbell, “Introduction to machine learning, neural networks, and deep learning,” *Transl Vis Sci Technol*, vol. 9, no. 2, 2020.
- [2] R. Elshawi, A. Wahab, A. Barnawi, and S. Sakr, “Dlbench: a comprehensive experimental evaluation of deep learning frameworks,” *Cluster Comput*, vol. 24, no. 3, pp. 2017–2038, 2021.
- [3] C. Janiesch, P. Zschech, and K. Heinrich, “Machine learning and deep learning,” *Electronic Markets*, vol. 31, no. 3, pp. 685–695, 2021.
- [4] M. H. M. Noor and A. O. Ige, “A survey on state-of-the-art deep learning applications and challenges,” 2024.
- [5] N. L. Rane, S. K. Mallick, O. Kaya, and J. Rane, “Tools and frameworks for machine learning and deep learning: A review,” in *Applied Machine Learning and Deep Learning: Architectures and Techniques*. Deep Science Publishing, 2024.
- [6] C. Yang, P. Liang, L. Fu, and Z. Li, “Self-claimed assumptions in deep learning frameworks: An exploratory study,” in *Evaluation and Assessment in Software Engineering*. New York, NY, USA: ACM, Jun. 2021, pp. 139–148.
- [7] D. Sculley, D. Holt, E. Davydov, and T. Phillips, “Hidden technical debt in machine learning systems,” *Adv Neural Inf Process Syst*, 2015.
- [8] D. O'Brien, S. Biswas, S. Imtiaz, R. Abdalkareem, E. Shihab, and H. Rajan, “23 shades of self-admitted technical debt: an empirical study on machine learning software,” in *Proceedings of the 30th ACM Joint*

*European Software Engineering Conference and Symposium on the Foundations of Software Engineering.* New York, NY, USA: ACM, Nov. 2022, pp. 734–746.

- [9] P. Brereton, B. A. Kitchenham, D. Budgen, M. Turner, and M. Khalil, “Lessons from applying the systematic literature review process within the software engineering domain,” *Journal of Systems and Software*, vol. 80, no. 4, pp. 571–583, 2007.
- [10] B. Kitchenham and P. Brereton, “A systematic review of systematic review process research in software engineering,” *Inf Softw Technol*, vol. 55, no. 12, pp. 2049–2075, 2013.
- [11] S. Dong, P. Wang, and K. Abbas, “A survey on deep learning and its applications,” *Comput Sci Rev*, vol. 40, p. 100379, 2021.
- [12] S. Shamshirband, M. Fathi, A. Dehzangi, A. T. Chronopoulos, and H. Alinejad-Rokny, “A review on deep learning approaches in healthcare systems: Taxonomies, challenges, and open issues,” *J Biomed Inform*, vol. 113, p. 103627, 2021.
- [13] C. Aracena, F. Villena, F. Arias, and J. Dunstan, “Applications of machine learning in healthcare,” *Revista Medica Clinica Las Condes*, vol. 33, no. 6, pp. 568–575, 2022.
- [14] C. Yang, P. Liang, and Z. Ma, “An exploratory study on automatic identification of assumptions in the development of deep learning frameworks,” *Sci Comput Program*, vol. 240, p. 103218, 2024.
- [15] J. Liu, Q. Huang, X. Xia, E. Shihab, D. Lo, and S. Li, “Is using deep learning frameworks free?” in *Proceedings of the ACM/IEEE 42nd International Conference on Software Engineering: Software Engineering in Society*. New York, NY, USA: ACM, Jun. 2020, pp. 1–10.
- [16] A. Bhatia, F. Khomh, B. Adams, and A. E. Hassan, “An empirical study of self-admitted technical debt in machine learning software,” 2024.
- [17] E. Nascimento, A. Nguyen-Duc, I. Sundbø, and T. Conte, “Software engineering for artificial intelligence and machine learning software: A systematic literature review,” 2020.
- [18] A. Serban, K. van der Blom, H. Hoos, and J. Visser, “Software engineering practices for machine learning — adoption, effects, and team assessment,” *Journal of Systems and Software*, vol. 209, p. 111907, 2024.
- [19] A. Potdar and E. Shihab, “An exploratory study on self-admitted technical debt,” in *2014 IEEE International Conference on Software Maintenance and Evolution*. IEEE, Sep. 2014, pp. 91–100.
- [20] E. da S. Maldonado and E. Shihab, “Detecting and quantifying different types of self-admitted technical debt,” in *2015 IEEE 7th International Workshop on Managing Technical Debt (MTD)*. IEEE, Oct. 2015, pp. 9–15.

- [21] J. Liu, Q. Huang, X. Xia, E. Shihab, D. Lo, and S. Li, “An exploratory study on the introduction and removal of different types of technical debt in deep learning frameworks,” *Empir Softw Eng*, vol. 26, no. 2, p. 16, 2021.
- [22] Y. Tang, R. Khatchadourian, M. Bagherzadeh, R. Singh, A. Stewart, and A. Raja, “An empirical study of refactorings and technical debt in machine learning systems,” in *2021 IEEE/ACM 43rd International Conference on Software Engineering (ICSE)*. IEEE, May 2021, pp. 238–250.
- [23] —, “An empirical study of refactorings and technical debt in machine learning systems,” in *2021 IEEE/ACM 43rd International Conference on Software Engineering (ICSE)*. IEEE, May 2021, pp. 238–250.
- [24] F. Pepe, F. Zampetti, A. Mastropaolo, G. Bavota, and M. D. Penta, “A taxonomy of self-admitted technical debt in deep learning systems,” 2024.
- [25] C. Liu, R. Cai, Y. Zhou, X. Chen, H. Hu, and M. Yan, “Understanding the implementation issues when using deep learning frameworks,” *Inf Softw Technol*, vol. 166, p. 107367, 2024.
- [26] Z. Liu, Q. Huang, X. Xia, E. Shihab, D. Lo, and S. Li, “Satd detector,” in *Proceedings of the 40th International Conference on Software Engineering: Companion Proceedings*. New York, NY, USA: ACM, May 2018, pp. 9–12.
- [27] R. Dyer, H. A. Nguyen, H. Rajan, and T. N. Nguyen, “Boa: ultra-large-scale software repository and source-code mining,” *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology*, vol. 25, no. 1, pp. 1–34, 2015.
- [28] Z. Lan, M. Chen, S. Goodman, K. Gimpel, P. Sharma, and R. Soricut, “Albert: A lite bert for self-supervised learning of language representations,” 2019.
- [29] O. S. Ekundayo and A. E.-S. Ezugwu, “Deep learning: Historical overview from inception to actualization, models, applications and future trends,” 2024.
- [30] G. Giray, “A software engineering perspective on engineering machine learning systems: State of the art and challenges,” *Journal of Systems and Software*, vol. 180, p. 111031, 2021.



Tipo de artículo: Artículos de revisión  
Temática: Inteligencia Artificial  
Recibido: 27/5/2025 | Aceptado: 14/7/2025 | Publicado: 30/9/2025

Identificadores persistentes:  
DOI: [10.48168/innosoft.s24.a223](https://doi.org/10.48168/innosoft.s24.a223)  
ARK: [ark:/42411/s24.a223](https://nbn-resolving.org/ark:/42411/s24.a223)  
PURL: [42411/s24.a223](https://purl.org/42411/s24.a223)

# Innovaciones en Inteligencia Artificial para la Asistencia Quirúrgica: Revisión Sistemática de Aplicaciones y Eficacia Clínica

## *Innovations in Artificial Intelligence for Surgery Assistance: Systematic Review of Applications and Clinical Efficacy*

Cristian Daniel Armas Abad<sup>1</sup>[\[0009-0006-7124-440X\]](mailto:carmasa@unitru.edu.pe)\*, Deysi Elvia Yuvixa Quiliche Plasencia<sup>2</sup>[\[0009-0000-7549-7048\]](mailto:dquiliche@unitru.edu.pe), Marcelino Torres Villanueva<sup>3</sup>[\[0000-0002-9797-1510\]](mailto:mtorres@unitru.edu.pe)

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú. [carmasa@unitru.edu.pe](mailto:carmasa@unitru.edu.pe)

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú. [dquiliche@unitru.edu.pe](mailto:dquiliche@unitru.edu.pe)

<sup>3</sup>Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú. [mtorres@unitru.edu.pe](mailto:mtorres@unitru.edu.pe)

\*Autor para correspondencia: [carmasa@unitru.edu.pe](mailto:carmasa@unitru.edu.pe)

---

### Resumen

La inteligencia artificial (IA) presenta actualmente una innumerable cantidad de implementaciones con resultados ampliamente comprobados. Las asistencias quirúrgicas, parte fundamental de la cirugía médica, son un ejemplo claro de innovación y eficaz aplicación de tecnologías que replican distintas cualidades y habilidades humanas para mejorar la atención quirúrgica del paciente. La presente investigación, a través de la metodología PRISMA, se enfoca en el análisis de las aplicaciones en IA para la asistencia quirúrgica, haciendo uso de artículos obtenidos luego de implementar una serie de criterios de búsqueda, inclusión y exclusión diseñados para lograr una total sintonía entre la literatura científica descrita y el tema central de la investigación. Se realizó una búsqueda profunda de la bibliografía en las bases de datos ProQuest y Google Académico y se seleccionaron 17 artículos de un total de 272 candidatos. Los resultados obtenidos muestran que, tecnologías como el Machine Learning (ML), Deep Learning (DL) o Robótica Quirúrgica son utilizadas para mejorar la atención al paciente con procedimientos menos invasivos y reduciendo riesgos. Este estudio subraya el impacto transformador de la IA en la asistencia quirúrgica y sugiere la necesidad de investigar más sobre su integración en nuevas especialidades y los aspectos éticos y normativos para garantizar su uso seguro.

**Palabras claves:** Asistencia Quirúrgica, Cirugía Médica, Eficacia Médica, Inteligencia Artificial

### Abstract

*Artificial intelligence (AI) currently presents an innumerable number of implementations with widely proven results. Surgical assistance, a fundamental part of medical surgery, is a clear example of innovation and effective application of technologies that replicate different human qualities and skills to improve patient surgical care. The present research, through the PRISMA methodology, focuses on the analysis of AI applications for surgical assistance, making use of articles obtained after implementing a series of search, inclusion and exclusion criteria designed to achieve a total syntony between the scientific literature described and the central theme of the research. An in-depth search of the literature was performed in the ProQuest and Google Scholar databases and 18 articles were selected from a total of 272 candidates. The results show that technologies such as Machine*

*Learning (ML), Deep Learning (DL), and Surgical Robotics are used to improve patient care with less invasive procedures and reduced risks. This study highlights the transformative impact of AI in surgical assistance and suggests the need for further research on its integration into new specialties, as well as ethical and regulatory aspects to ensure its safe use.*

**Keywords:** *Surgical Assistance, Medical Surgery, Medical Efficacy, Artificial Intelligence*

---

## Introducción

No existe, actualmente, área del conocimiento o rama de la ciencia en donde no se hayan implementado o al menos explorado, soluciones de inteligencia artificial (IA) como apoyo o alternativa a procedimientos convencionales. Las ventajas derivadas de su utilización son ampliamente reconocidas y dentro de la medicina esto no es la excepción. Investigaciones como [1], [2], relatan que, en diversas especialidades médicas, la IA se encuentra transformando la forma en la que se realizan actualmente muchas de las técnicas tradicionales, con especial énfasis en el sector quirúrgico. Ya sea por medio de cirugía asistidas por robot [3], [?], Machine Learning (ML) para la toma de decisiones quirúrgicas complejas y de alto riesgo [1], Deep Learning (DL) enfocado en el procesamiento de imágenes médicas para el diagnóstico de enfermedades y la planificación quirúrgica [4], [5] e incluso Realidad Aumentada (RA) para la simulación de escenarios controlados que permitan la formación y capacitación de profesionales en el ámbito quirúrgico [6]. Estas herramientas no solo respaldan la toma de decisiones, sino que también contribuyen a la reducción de costos, minimización del margen de error humano [7] y a brindar una atención médica de calidad. En este contexto, el objetivo de esta investigación fue analizar distintos tipos de aplicaciones de la IA en el ámbito de la asistencia quirúrgica. Para ello, se evaluó el impacto de dichas aplicaciones en términos de eficacia clínica, entendida como el grado en que una intervención mejora la calidad de la atención médica [8]. De esta manera, se busca ofrecer una visión integradora que permita comprender mejor el papel de la IA en la práctica quirúrgica actual, así como sus implicaciones en la seguridad del paciente y el perfeccionamiento continuo de las técnicas utilizadas.

La IA puede definirse como un conjunto de herramientas y métodos computacionales, incluyendo el aprendizaje automático (Machine Learning) y el aprendizaje profundo (Deep Learning), diseñados para resolver desafíos complejos que normalmente requerirían de inteligencia humana. Estos sistemas, a través de algoritmos y modelos matemáticos que procesan datos y realizan predicciones, buscan simular la capacidad de aprendizaje, razonamiento, percepción y toma de decisiones humana de forma autómatas [9]. La inteligencia artificial, con sus métodos y procedimientos, constituyen una solución tecnológica de alto nivel que aplicada en la asistencia quirúrgica aporta elementos que optimizan el hacer médico. Las necesidades médicas son, frecuentemente, identificar, cuantificar e interpretar las relaciones entre variables de su entorno para mejorar la atención al paciente [10]. Bajo esta perspectiva, la utilización de la IA representa una novedosa aproximación que pretende

influir positivamente en la reducción de costos, tiempo y errores médicos, al potenciar el uso de los recursos tecnológicos en áreas médicas con mayores demandas. [11] En este sentido, la asistencia quirúrgica es un proceso integral que comprende múltiples aspectos e involucra a diversas especialidades y profesionales de la salud, incluyendo el procedimiento quirúrgico como tal, equipos de cirujanos, enfermería, farmacia, ingeniería clínica, laboratorios de análisis clínicos, higiene, limpieza y los propios pacientes [10]. En este contexto, la inteligencia artificial (IA) y las tecnologías asociadas juegan un papel fundamental para optimizar el desempeño de la asistencia quirúrgica. La asistencia quirúrgica potenciada por IA permite la evaluación de las intervenciones operatorias [12], obtención de información en tiempo real de factores clave como la anatomía y signos vitales del paciente, anticipando necesidades de recursos, detectando anomalías y sugiriendo mejores enfoques quirúrgicos. Con estas prestaciones, los cirujanos son capaces de realizar intervenciones quirúrgicas de manera más precisa y segura, reduciendo las complicaciones y los tiempos de recuperación [13]. Finalmente, la consideración de la eficacia médica resulta esencial para entender el impacto de estas tecnologías. Esta hace referencia a la capacidad que un procedimiento, tratamiento o intervención tiene de lograr los resultados deseados en relación con los objetivos establecidos [14] dentro del ámbito de la atención sanitaria. Es una medida de cómo una acción médica específica cumple con las metas organizacionales y clínicas, optimizando la calidad de la atención al paciente. Para que una intervención sea considerada eficaz, es necesario priorizar y ejecutar de manera ordenada aquellas tareas que permitan alcanzar los objetivos exitosamente [8]. En condiciones ideales, la eficacia médica evalúa la relación entre los objetivos planteados y los resultados obtenidos, determinando hasta qué punto un procedimiento o servicio puede lograr el mejor resultado posible [15].

## **Materiales y métodos o Metodología computacional**

En el desarrollo de la revisión sistemática se utilizó la metodología PRISMA, la cual es reconocida por su eficacia en la evaluación y selección de literatura científica. La Figura 1 muestra un diagrama de flujo que ilustra la estructura de las etapas de esta metodología, detallando los criterios aplicados que tienen como propósito asegurar la confiabilidad y validez en los resultados obtenidos.

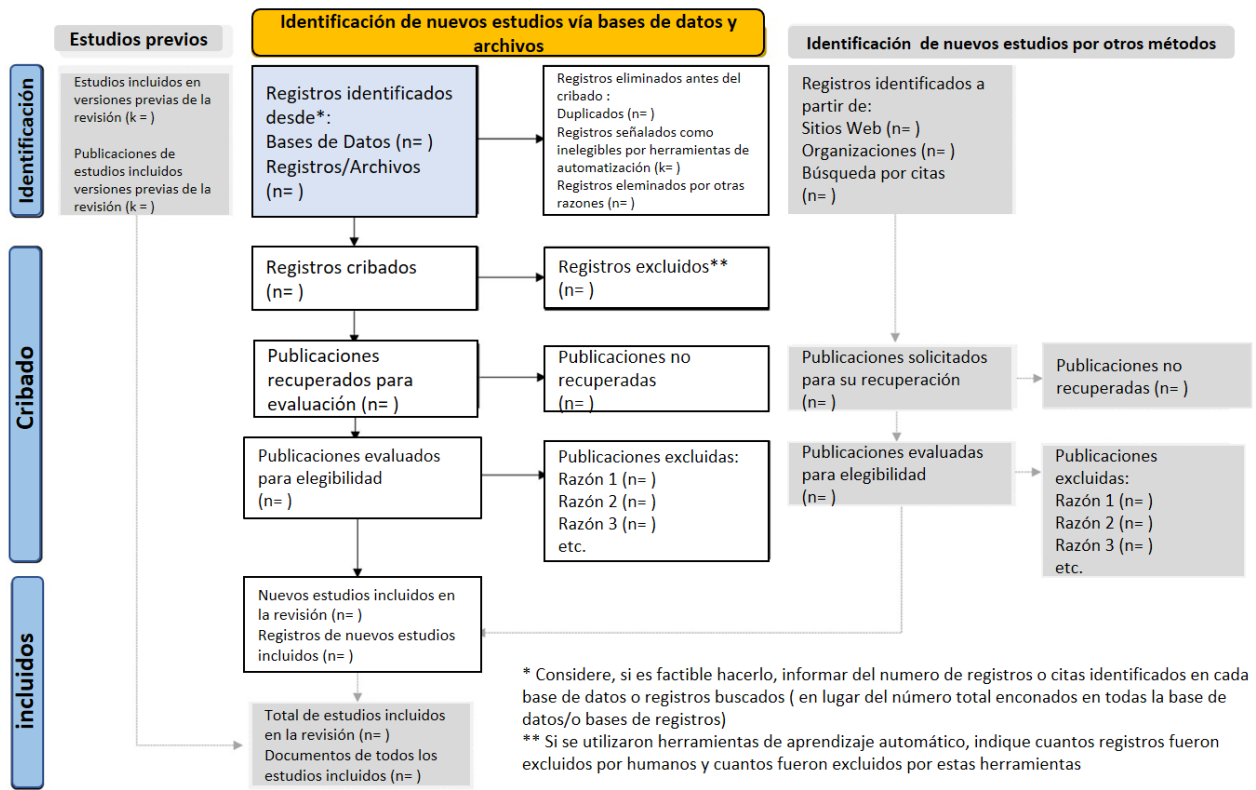


Figura 1. Diagrama de flujo de la metodología PRISMA [16].

## Términos y Operadores de búsqueda

El proceso de búsqueda comenzó con la utilización de conectores booleanos, mismas que facilitaron la integración adecuada de las diversas variables del estudio. Con el objetivo de maximizar la precisión en la identificación de literatura científica relevante, se diseñó un protocolo específico. Este protocolo combinó términos predefinidos con operadores booleanos, cuyo desglose detallado se encuentra en la Tabla 1.

Repositorio	Cadena de Búsqueda
Google Académico	“inteligencia artificial” “asistencia quirúrgica”
ProQuest	((TITLE-ABS-KEY (“artificial intelligence”) OR TITLE-ABS-KEY (“AI”)) AND (TITLE-ABS-KEY (“surgical assistance”)))

Tabla 1. Términos y Operadores por cada base de datos.

## Criterios de inclusión y exclusión

Los criterios de inclusión y exclusión son directrices clave que son diseñadas para detallar el proceso de revisión de un artículo. La función principal es determinar qué estudios o artículos son considerados y cuáles serán descartados durante la evaluación. Los criterios son esenciales para garantizar relevancia, calidad y rigor metodológico de los estudios seleccionados para el análisis. Los criterios de inclusión se encuentran resumidos en la Tabla 2, mientras que los criterios de exclusión se detallan en la Tabla 3.

N°	Criterios de inclusión
CI1	Literatura que aborda el tema de la inteligencia artificial aplicada a la asistencia quirúrgica, incluyendo herramientas, técnicas y aplicaciones específicas en cirugía asistida de distintas áreas médicas.
CI2	Literatura de tipo artículo.
CI3	Artículos en español e inglés.
CI4	Artículos publicados entre los años 2019 y 2024.

Tabla 2. Criterios de inclusión.

N°	Criterios de Exclusión
CI1	Literatura distinta a la de un artículo.
CI2	Artículos no publicados entre 2019 y 2024
CI3	Artículos con Acceso Limitado o Restringido
CI4	Artículos sin relación directa con el tema central

Tabla 3. Criterios de exclusión.

## Recopilación de información

En la Tabla 4 se presenta un desglose detallado de los artículos recopilados, organizados según las bases de datos y los motores de búsqueda utilizados como referencia.

Base de Datos	Artículos Totales	Aplicación CE1	Aplicación CE2	Aplicación CE3	Aplicación CE4
ProQuest	115	106	95	95	
Google Académico	157	66	23	15	
<b>Total</b>	<b>272</b>	<b>172</b>	<b>118</b>	<b>110</b>	

Tabla 4. Artículos seleccionados tras aplicar criterios de inclusión y exclusión.

Se aplicaron diversos filtros a las publicaciones y revistas científicas seleccionadas, detallado en la Figura 2, en relación a las directrices de inclusión y exclusión previamente establecidas. Este proceso permitió garantizar la relevancia, calidad y pertinencia de las fuentes utilizadas.

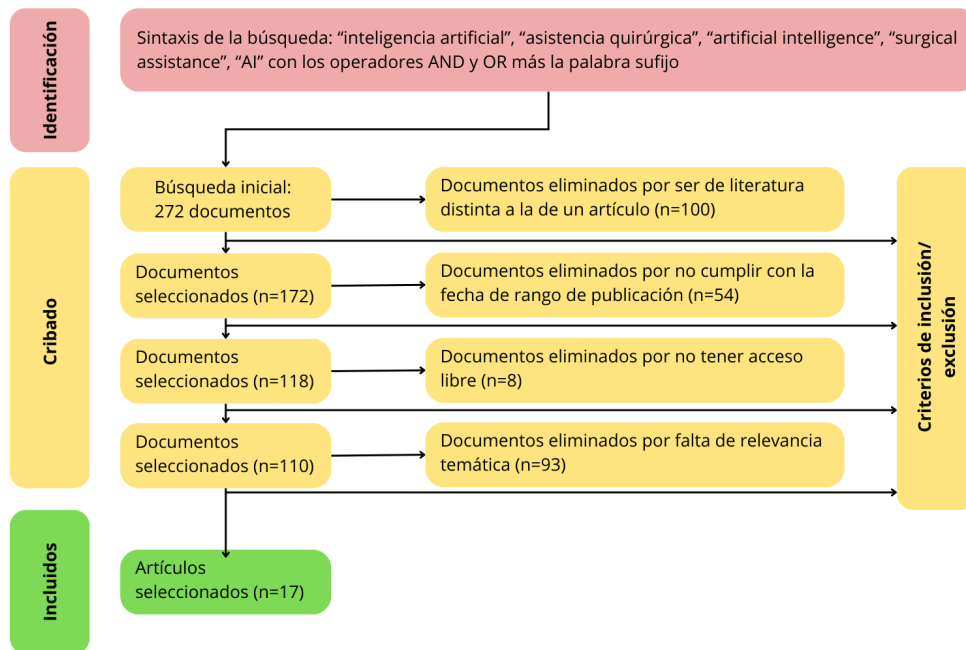


Figura 2. Diagrama de flujo de PRISMA aplicado a este artículo.

## Resultados y discusión

En la Tabla 5, se presenta un registro de los artículos que contienen información filtrada, en los cuales se detalla el uso de innovaciones en la inteligencia artificial aplicadas en diversas especialidades quirúrgicas. De igual forma, se incluyó una columna adicional de resultados obtenidos en cada artículo, proporcionando un contexto sobre la aplicación e impacto de estas herramientas, teniendo en cuenta que los artículos seleccionados corresponden al periodo comprendido entre los años 2019-2024.

Tabla 5. Resultados del análisis de los artículos seleccionados.

N°	Título del Artículo	Especialidades quirúrgicas	Aplicación de la IA	Resultados
1	Artificial Intelligence Tools in Pediatric Urology: A Comprehensive Review of Recent Advances [13].	Cirugía Pediátrica Urológica	Dispositivos de navegación intraoperatoria asistidos por IA. Sistemas de apoyo a la toma de decisiones para la planificación y simulación de procedimientos quirúrgicos.	Mejora los resultados de la pieloplastia pediátrica al ofrecer tratamientos personalizados, aumentar la precisión quirúrgica y reducir las complicaciones. El enfoque en la capacitación, planificación y asistencia de todo el procedimiento quirúrgico determina un mayor beneficio a largo plazo.

N°	Título del Artículo	Especialidades quirúrgicas	Aplicación de la IA	Resultados
2	Illuminating the Future of Precision Cancer Surgery with Fluorescence Imaging and Artificial Intelligence Convergence [5].	Cirugía Oncológica	Redes Neuronales Convolucionales (CNN) para la detección y asistencia en la extracción tumoral a partir de imágenes con fluorescencia.	La combinación de variantes de redes neuronales permiten aumentar la precisión en la delimitación de tumores hasta en un 130 %, mejorando variables como el contraste y definición. Al integrar información multimodal (como diseño de corte quirúrgico, imágenes radiológicas, resultados histopatológicos y alteraciones genéticas), puede ayudar a formular planes quirúrgicos basados en información multidimensional, lo que mejora la toma de decisiones durante la cirugía.

N°	Título del Artículo	Especialidades quirúrgicas	Aplicación de la IA	Resultados
3	Artificial Intelligence and Robotics in Spine Surgery [17].	Cirugía de Columna Vertebral	Sistemas de Navegación asistida impulsados por IA. Asistencia Robótica haciendo uso de sistemas como SpineAssist o ROSA.	Alta precisión en la colocación de tornillos pediculares a comparación de técnicas tradicionales, cercana al 98%. Esto sumado a las ventajas asociadas a una menor carga de fatiga en el cirujano, lo que contribuye a un mejor rendimiento en sesiones largas.
4	The Role of Augmented Reality in the Advancement of Minimally Invasive Surgery Procedures: A Scoping Review [18].	Cirugía Laparoscópica (mínimamente invasiva)	Navegación quirúrgica guiada por Realidad Aumentada, con interfaces avanzadas entre el usuario y el entorno quirúrgico	Reducción de los tiempos quirúrgicos y pérdida de sangre, enfocado en prácticas quirúrgicas suaves y menos invasivas. La precisión de la navegación guiada por AR aún no supera significativamente los métodos convencionales, las mejoras en ergonomía y visualización durante los procedimientos son notables.

N°	Título del Artículo	Especialidades quirúrgicas	Aplicación de la IA	Resultados
5	Deep-Learning-Based Cerebral Artery Semantic Segmentation in Neurosurgical Operating Microscope Vision Using Indocyanine Green Fluorescence Videoangiography [19].	Neurocirugía	Segmentación quirúrgica de las arterias cerebrales con visión de campo mediante el deep learning (DL), concretamente con el modelo DeepLabv3+.	Los investigadores utilizaron la angiografía intraoperatoria con fluorescencia de ICG para generar automáticamente un conjunto de datos fiables de arterias cerebrales. Cuatro modelos diferentes de redes neuronales fueron entrenados y comparados, destacando el modelo DeepLabv3+, que alcanzó una puntuación Dice del 79 % en la segmentación de las arterias cerebrales. El método permitió distinguir eficazmente entre arterias y venas basándose en las fases de la angiografía con ICG. La validación se realizó rigurosamente en diferentes grupos de pacientes, demostrando la viabilidad y proyectándose a representar una implementación en sistemas robóticos complejos.

N°	Título del Artículo	Especialidades quirúrgicas	Aplicación de la IA	Resultados
6	Autonomous Image Segmentation and Identification of Anatomical Landmarks from Lumbar Spine Intraoperative Computed Tomography Scans Using Machine Learning [20].	Cirugía de columna vertebral	Sistema de IA utilizando neuronales convolucionales (CNN) con machine learning (ML), para analizar automáticamente datos de escaneos de la columna vertebral.	El algoritmo desarrollado es capaz de segmentar e identificar diferentes componentes de la anatomía ósea vertebral sin intervención humana, con una precisión del 98%. Uno de los principales beneficios concluidos por la investigación es la capacidad de determinar la trayectoria ideal para la colocación del implante usando el modelo desarrollado, pudiendo mostrar esta información al cirujano o integrar directamente en plataformas robóticas.

N°	Título del Artículo	Especialidades quirúrgicas	Aplicación de la IA	Resultados
7	Cirugía robótica: ¿una tecnología disruptiva? [21].	Cirugía General	El robot Da Vinci Xi con mesa operatoria integrada, que combina un sistema de brazos quirúrgicos suspendidos y una mesa operatoria 7000dv de Trumpf Medical 's TruSystem®.	El robot Da Vinci Xi, equipado con brazos robóticos controlados por un cirujano desde una consola, permite realizar procedimientos mínimamente invasivos con extraordinaria precisión. Además, incorpora una cámara de alta definición que proporciona imágenes en 3D, mejorando significativamente la visibilidad durante las intervenciones quirúrgicas.

N°	Título del Artículo	Especialidades quirúrgicas	Aplicación de la IA	Resultados
8	Hyperspectral Imaging Benchmark Based on Machine Learning for Intraoperative Brain Tumour Detection [22].	Neurocirugía	Imágenes Hiperespectrales (HSI) con Algoritmos de Machine Learning y Deep Learning como Máquinas de Soporte Vectorial (SVM) para separar las clases de tumores, Bosques Aleatorios (RF) que combinan predicciones de árboles de decisión, K-Vecinos Más Cercanos (KNN) para clasificar píxeles cercanos en el espacio espectral y Red Neuronal Profunda (DNN) de dos capas ocultas para extraer patrones no lineales, mejorando el rendimiento en la clasificación de los datos.	La combinación de Imágenes Hiperespectrales (HSI) y aprendizaje automático alcanzó como resultado una puntuación macro F1 media de $70.2 \pm 7.9\%$ en el conjunto de prueba, lo que refleja que el modelo es capaz de identificar con cierta precisión las clases de tumores cerebrales sin generar demasiados falsos positivos ni falsos negativos.

N°	Título del Artículo	Especialidades quirúrgicas	Aplicación de la IA	Resultados
9	Present and Future Applications of Artificial Intelligence in Kidney Transplantation [23]	Cirugía de trasplante renal	Integración de la IA en sistemas de registro electrónico de pacientes para el análisis de datos clínicos. Impresión de órganos y desarrollo de riñones bioartificiales con IA implementado con monitoreo y detección temprana de complicaciones.	El artículo determina que existe un enorme potencial para transformar el ámbito de los trasplantes de riñón (KT) con soluciones innovadoras con enfoque en la IA. Sin embargo, detalla ciertas limitaciones en la tecnología implementada y destaca que el trabajo en conjunto entre las tecnologías de IA y los profesionales médicos será crucial para lograr innovaciones en este campo.
10	Partnering With Technology: Advancing Laparoscopy With Artificial Intelligence and Machine Learning [24]	Cirugía Laparoscópica	Algoritmos de Machine Learning como modelos predictivos para los resultados de trasplante, prediciendo la probabilidad de rechazo en el trasplante, mitigando riesgos y mejorando la asignación del donante-receptor.	Se afirma que la técnica de machine learning presenta el potencial para cambiar el rumbo del trasplante de riñón ofreciendo herramientas innovadoras personalizando el tratamiento, prediciendo riesgos y optimizando los resultados en la cirugía laparoscópica.

N°	Título del Artículo	Especialidades quirúrgicas	Aplicación de la IA	Resultados
11	Exploring the Practical Applications of Artificial Intelligence, Deep Learning, and Machine Learning in Maxillofacial Surgery: A Comprehensive Analysis of Published Works [25]	Cirugía Maxilofacial	Implementación de la inteligencia artificial (IA), el deep learning (DL) y machine learning (ML) en el diagnóstico y planificación de tratamientos, detallando la precisión en procedimientos quirúrgicos y evaluación de resultados.	El artículo destaca el impacto significativo de las tecnologías de inteligencia artificial, aprendizaje profundo y aprendizaje automático en la cirugía maxilofacial, revolucionando la práctica quirúrgica mediante herramientas avanzadas que optimizan la precisión y mejoran significativamente la atención al paciente.

N°	Título del Artículo	Especialidades quirúrgicas	Aplicación de la IA	Resultados
12	Autonomous image segmentation and identification of anatomical landmarks from lumbar spine intraoperative computed tomography scans using machine learning: A validation study [7].	Cirugía de Columna Vertebral	Modelo de CNN para la medición de la anatomía vertebral y predicción de trayectorias de implantes con tomografías computarizadas	El algoritmo desarrollado es capaz de detectar la anatomía normal y anormal de la columna lumbar a la vez que realiza una correcta segmentación de las partes de la misma. Según la investigación, la precisión obtenida por la red neuronal fue de 97.5%, similar a investigaciones previas. La investigación concluye que esta información permitiría presentar la trayectoria ideal para la colocación de un implante, ya sea en un monitor para el cirujano o mediante una plataforma robótica autónoma, dejando al cirujano la tarea de supervisión y verificación del plan quirúrgico.

N°	Título del Artículo	Especialidades quirúrgicas	Aplicación de la IA	Resultados
13	The Application of Augmented Reality Technology in Perioperative Visual Guidance: Technological Advances and Innovation Challenges [26].	Cirugía Oftalmológica	Sensores electrónicos portátiles integrados con sistemas de realidad aumentada proporcionando información a tiempo real de los síntomas del paciente. Integración de machine learning con sistemas de realidad aumentada para el reconocimiento de patrones y optimización de imágenes virtuales y estructuras físicas en el proceso perioperatorio.	El artículo resalta que dispositivos electrónicos en la piel y diseños ergonómicos mejoran la practicidad y comodidad en los sistemas de realidad aumentada (AR). Así como, la incorporación de machine learning permitirá un diagnóstico más inteligente con una navegación quirúrgica más precisa en el periodo perioperatorio de la cirugía oftalmológica.

N°	Título del Artículo	Especialidades quirúrgicas	Aplicación de la IA	Resultados
14	Unveiling the Potential: A Comprehensive Review of Artificial Intelligence Applications in Ophthalmology and Future Prospects [27]	Cirugía Oftalmológica	Realidad Virtual y Realidad Aumentada para la formación y planificación quirúrgica. Sistemas de Aprendizaje Profundo para Terapia de Láser Asistida.	La investigación destaca el uso de técnicas de aprendizaje profundo y realidad aumentada en la formación académica de oftalmólogos, proporcionando entornos seguros para la práctica de procedimientos quirúrgicos, lo que fomenta el desarrollo de sus habilidades técnicas. Asimismo, se resalta la integración de imágenes multimodales con sistemas de aprendizaje profundo para implementar terapias con láser guiadas por inteligencia artificial. Estas tecnologías permiten pronosticar la evolución de la enfermedad y los resultados visuales de cada paciente, perfeccionando los tratamientos y mejorando tanto la precisión como la eficacia.

N°	Título del Artículo	Especialidades quirúrgicas	Aplicación de la IA	Resultados
15	Toward Intraoperative Visual Intelligence: Real-Time Surgical Instrument Segmentation for Enhanced Surgical Monitoring [28].	Cirugía General	Modelo Enhanced U-Net con GridMask (EUGNet) para la segmentación de instrumentos quirúrgicos, capturando a escala y comprimiendo el formato MPEG para ser transmitido a una estación de medios en tiempo real RTSP (Real-Time Streaming Protocol).	En un entorno simulado, el sistema alcanzó una precisión del 85.5 % en la identificación y segmentación de instrumentos quirúrgicos, con una transmisión inalámbrica del video confiable mediante una latencia de 200 ms, adecuada para procesamiento en tiempo real.
16	Clinical Applications of Artificial Intelligence and Machine Learning in Children with Cleft Lip and Palate—A Systematic Review [3].	Cirugía Ortognática	Implementación de la inteligencia artificial (IA) y el machine learning (ML) en cirugía ortognática facilitando el diagnóstico, predicción y tratamiento en niños con labio y paladar hendido.	La inteligencia artificial es una herramienta avanzada con aplicaciones prometedoras en la atención clínica para niños con labio y paladar hendido. Así como el machine learning es útil en la predicción de necesidades quirúrgicas futuras y lograr optimizar la toma de decisiones en los cirujanos.

N°	Título del Artículo	Especialidades quirúrgicas	Aplicación de la IA	Resultados
17	Hey Siri! Perform a Type 3 Hysterectomy. Please Watch Out for the Ureter! What is Autonomous Surgery and What are the Latest Developments? [29].	Cirugía General	Sistemas de IA para evaluar mamografías IA para seleccionar el embrión con mayor probabilidad de embarazo en los ciclos de fertilización in vitro (IVF).	El desarrollo con la IA, el deep learning y la cirugía autónoma en medicina brinda un beneficio social, optimizando los procedimientos médicos y generando un impacto positivo y con resultados precisos mejorando la atención al paciente.

La aplicación de la inteligencia artificial está transformando diversas áreas dentro de las especialidades quirúrgicas. En la Figura 3, extraída de la búsqueda realizada en este artículo, se muestran las especialidades quirúrgicas en las que se está utilizando con mayor frecuencia.

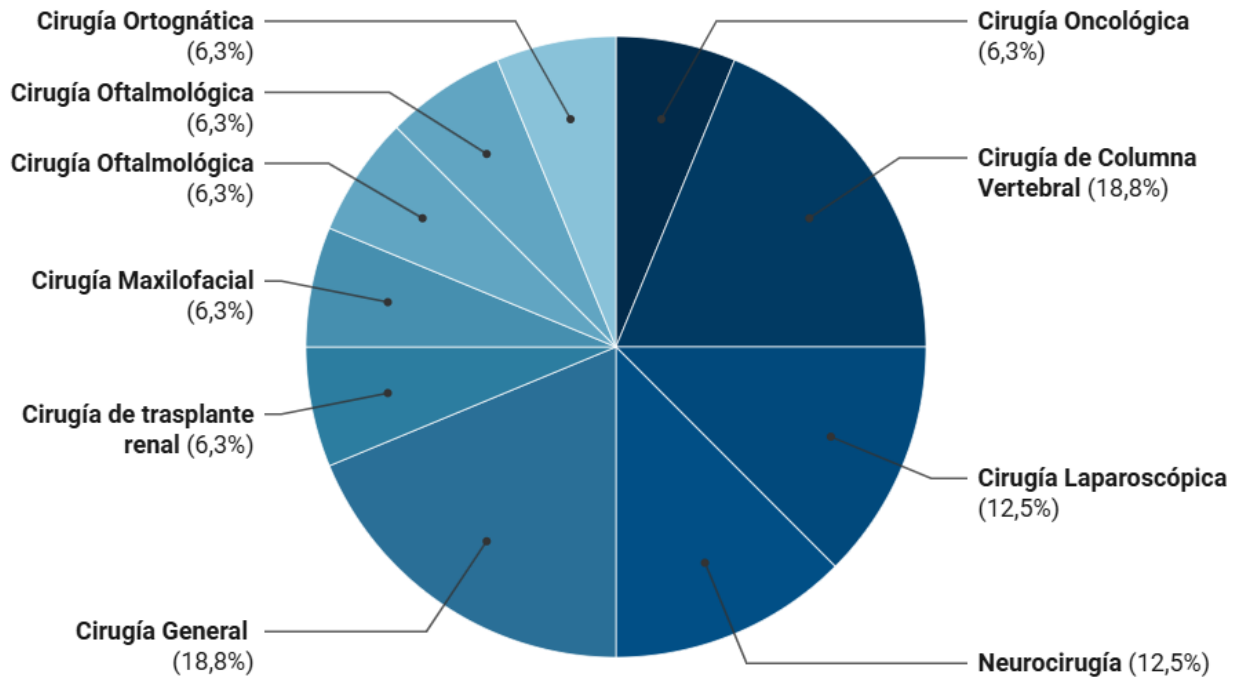


Figura 3. Distribución porcentual de las especialidades quirúrgicas con mayor implementación de herramientas con inteligencia artificial.

Los resultados señalan el creciente impacto de la inteligencia artificial (IA) en diversos campos de la asistencia quirúrgica, desempeñando un papel clave al ofrecer herramientas avanzadas que apoyan a los profesionales de la salud y abren vastas oportunidades de innovación en el ámbito médico [30]. Este enfoque resalta cómo el uso de técnicas avanzadas como machine learning (ML), deep learning (DL), realidad aumentada (AR), entre otras, han demostrado ser altamente eficaces en la optimización de procedimientos quirúrgicos, permitiendo una mayor precisión en diagnósticos, planificación y ejecución de intervenciones. Además, estas arquitecturas avanzadas no solo mejoran la precisión de los resultados clínicos, sino que también abren a la posibilidad de desarrollar sistemas predictivos para identificar complicaciones quirúrgicas, reduciendo tiempos de respuesta y mejorando la seguridad del paciente.

La implementación de la robótica quirúrgica con la inteligencia artificial (AI) jugará un papel fundamental en el futuro de la medicina quirúrgica, a pesar de los desafíos y riesgos en su implementación, esta herramienta se perfila como un avance crucial que logrará transformar los procedimientos quirúrgicos [21]. Este estudio revela que, a pesar de los desafíos técnicos, económicos y éticos asociados con la implementación de la robótica quirúrgica y la inteligencia artificial, estas tecnologías tienen el potencial de revolucionar la cirugía. De manera

que, la robótica quirúrgica apoyada por la inteligencia artificial modificará el panorama quirúrgico creando entornos más eficientes, seguros y precisos.

Por otro lado, aunque se destaca la integración de la IA en la asistencia quirúrgica por su potencial para mejorar la eficiencia clínica, es crucial una investigación continua, colaboración entre actores clave e inversión constante para enfrentar los desafíos relacionados con la privacidad de los datos, el cumplimiento normativo y las consideraciones éticas [27]. Esta perspectiva plantea nuevas expectativas respecto a las soluciones que ofrece la IA, al tiempo que garantiza su implementación de acuerdo con los más altos estándares éticos y legales, asegurando la seguridad, privacidad y efectividad de estas tecnologías. En este contexto, la inversión en tecnologías basadas en IA, el desarrollo de protocolos de seguridad adecuados y la formación continua de los profesionales serán esenciales para lograr una integración exitosa de la inteligencia artificial en la asistencia quirúrgica y sus especialidades.

## Conclusiones

De acuerdo al análisis de los resultados obtenidos acerca de la implementación de la inteligencia artificial en la asistencia quirúrgica, se han revelado claros avances significativos que impulsan la transformación de las especialidades quirúrgicas. El estudio detalla soluciones innovadoras que hacen uso de tecnologías emergentes como el machine learning (ML), deep learning (DP) y la robótica quirúrgica asistida por inteligencia artificial (IA), con las que logran mejoras en la precisión, eficacia y seguridad en la ejecución de intervenciones quirúrgicas, con mejores resultados para los pacientes.

La integración de la inteligencia artificial en sistemas de segmentación de imágenes ha logrado optimizar el diagnóstico e intervención, mejorando la visualización de aspectos como la anatomía del paciente, la entidad o problema a tratar, y hasta incluso el reconocimiento de instrumentos quirúrgicos. Además, la robótica quirúrgica, apoyada por la inteligencia artificial, permite procedimientos más seguros y menos invasivos, reduciendo en gran medida el riesgo de en el proceso quirúrgico.

Sin embargo, aunque las tecnologías emergentes de la inteligencia artificial se han implementado en este campo, se identifican ciertos desafíos debido a la privacidad de los datos y el cumplimiento de regulaciones éticas. Es por ello que se requiere una atención continua y colaboración entre los especialistas médicos para garantizar una implementación segura y ética de estas herramientas.

En conjunto, este estudio contribuye significativamente al campo de la asistencia quirúrgica asistida por inteligencia artificial, mostrando su potencial transformador y su impacto positivo en la atención al paciente. Para trabajos futuros, se sugiere continuar investigando en la integración de estas tecnologías en desarrollos de

sistemas predictivos más avanzados y ampliando su aplicación en nuevas especialidades quirúrgicas. También es necesario profundizar en el estudio de los aspectos éticos y normativos para garantizar una implementación responsable y segura de la inteligencia artificial en la asistencia quirúrgica.

## Contribución de Autoría

Cristian Daniel Armas Abad: [Conceptualización](#), [Investigación](#), [Metodología](#), [Redacción - borrador original](#).  
Deysi Elvia Yuvixa Quiliche Plasencia: [Investigación](#), [Curación de datos](#), [Escritura, revisión y edición](#).  
Marcelino Torres Villanueva: [Supervisión](#), [Administración de proyectos](#).

## Referencias

- [1] D. Lanzagorta-Ortega, D. L. Carrillo-Pérez, and R. Carrillo-Esper, “Artificial intelligence in medicine: present and future,” *Gac. Med. Mex.*, vol. 158, no. Supplement 1, pp. 17–21, 2022.
- [2] K. E. Moncada Granda and F. G. Correa Martínez, “Aplicaciones de la inteligencia artificial en cirugía,” *Salud ConCienc.*, vol. 2, no. 2, p. e31, 2023.
- [3] M. Z. U. Huq *et al.*, “Clinical applications of artificial intelligence and machine learning in children with cleft lip and palate-a systematic review,” *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 19, no. 17, p. 10860, 2022.
- [4] M. D. J. Sánchez, E. M. P. Charris, and B. M. R. Rodríguez, “¿cómo ha ayudado la inteligencia artificial en la medicina?” *Convicciones*, vol. 8, no. 16, pp. 6–20, 2021.
- [5] H. Cheng *et al.*, “Illuminating the future of precision cancer surgery with fluorescence imaging and artificial intelligence convergence,” *NPJ Precis. Oncol.*, vol. 8, no. 1, p. 196, 2024.
- [6] J. S. Barajas-Gamboa, “Redefiniendo la era de la cirugía digital: el rol de la inteligencia artificial, la realidad aumentada y el aprendizaje automático en el campo quirúrgico,” *Medunab*, vol. 25, no. 3, pp. 353–358, 2022.
- [7] I. Suazo Galdames, “Artificial intelligence in human medicine,” *International Journal of Medical and Surgical Sciences*, pp. 1–4, 2023.
- [8] R. M. Lam Díaz and P. Hernández Ramírez, “Los términos: eficiencia, eficacia y efectividad ¿son sinónimos en el área de la salud?” *Rev. Cuba. Hematol. Immunol. Hemoter.*, vol. 24, no. 2, 2008.

- [9] E. Gallego-Colón, “La inteligencia artificial como herramienta diagnóstica: ¿la nueva telemedicina?” *Sanid. Mil.*, vol. 79, no. 3, pp. 156–158, 2023.
- [10] E. P. Álvarez Morejón, “Proceso de aplicación del consentimiento informado a pacientes quirúrgicos en el servicio de cirugía del hospital general san francisco,” *Universidad de las Américas, Quito*, 2019.
- [11] M. C. G. Gallardo and R. A. Avila, “Aplicaciones de la inteligencia artificial en la medicina: perspectivas y problemas,” *ACIMED*, vol. 17, no. 5, 2008.
- [12] D. Kiyasseh *et al.*, “A multi-institutional study using artificial intelligence to provide reliable and fair feedback to surgeons,” *Commun. Med. (Lond.)*, vol. 3, no. 1, p. 42, 2023.
- [13] A. T. Chowdhury *et al.*, “Artificial intelligence tools in pediatric urology: A comprehensive review of recent advances,” *Diagnostics (Basel)*, vol. 14, no. 18, p. 2059, 2024.
- [14] R. S. George Quintero, Y. Gámez Toirac, D. Matos Laffita, I. González Rodríguez, R. Labori Ruiz, and S. A. Guevara Silveira, “Eficacia, efectividad, eficiencia y equidad en relación con la calidad en los servicios de salud,” *Infodir*, no. 35, 2021.
- [15] R. M. Lam Díaz and P. Hernández Ramírez, “Los términos: eficiencia, eficacia y efectividad ¿son sinónimos en el área de la salud?” *Rev. Cuba. Hematol. Immunol. Hemoter.*, vol. 24, no. 2, 2008.
- [16] BiblioGETAFE, “Diagrama de flujo prisma 2020,” 2021, consultado: 11-dic-2024. [Online]. Available: <https://bibliogetafe.com/2021/06/23/diagrama-de-flujo-prisma-2020/>
- [17] J. J. Rasouli *et al.*, “Artificial intelligence and robotics in spine surgery,” *Global Spine J.*, vol. 11, no. 4, pp. 556–564, 2021.
- [18] P. Brockmeyer, B. Wiechens, and H. Schliephake, “The role of augmented reality in the advancement of minimally invasive surgery procedures: A scoping review,” *Bioengineering (Basel)*, vol. 10, no. 4, 2023.
- [19] M.-S. Kim *et al.*, “Deep-learning-based cerebral artery semantic segmentation in neurosurgical operating microscope vision using indocyanine green fluorescence videoangiography,” *Front. Neurobot.*, vol. 15, p. 735177, 2021.
- [20] K. Siemionow, C. Luciano, C. Forsthoefel, and S. Aydogmus, “Autonomous image segmentation and identification of anatomical landmarks from lumbar spine intraoperative computed tomography scans using machine learning: A validation study,” *J. Craniovertebr. Junction Spine*, vol. 11, no. 2, p. 99, 2020.
- [21] R. T. Peña, “Cirugía robótica: ¿una tecnología disruptiva?” *Infodir*, vol. 0, no. 29, pp. 91–106, 2019.

- [22] R. Leon *et al.*, “Hyperspectral imaging benchmark based on machine learning for intraoperative brain tumour detection,” *NPJ Precis. Oncol.*, vol. 7, no. 1, p. 119, 2023.
- [23] E. Kotsifa and V. K. Mavroeidis, “Present and future applications of artificial intelligence in kidney transplantation,” *J. Clin. Med.*, vol. 13, no. 19, 2024.
- [24] T. Reza and S. F. H. Bokhari, “Partnering with technology: Advancing laparoscopy with artificial intelligence and machine learning,” *Cureus*, vol. 16, no. 3, p. e56076, 2024.
- [25] L. Czako *et al.*, “Exploring the practical applications of artificial intelligence, deep learning, and machine learning in maxillofacial surgery: A comprehensive analysis of published works,” *Bioengineering (Basel)*, vol. 11, no. 7, p. 679, 2024.
- [26] Y. Shen, S. Wang, Y. Shen, and J. Hu, “The application of augmented reality technology in perioperative visual guidance: Technological advances and innovation challenges,” *Sensors (Basel)*, vol. 24, no. 22, 2024.
- [27] U. Swaminathan and S. Daigavane, “Unveiling the potential: A comprehensive review of artificial intelligence applications in ophthalmology and future prospects,” *Cureus*, vol. 16, no. 6, p. e61826, 2024.
- [28] M. Daneshgar Rahbar, G. Pappas, and N. Jaber, “Toward intraoperative visual intelligence: Real-time surgical instrument segmentation for enhanced surgical monitoring,” *Preprints*, 2024.
- [29] B. Gültekin, E. Karabük, and M. F. Köse, “Hey siri! perform a type 3 hysterectomy. please watch out for the ureter! what is autonomous surgery and what are the latest developments?” *Journal of the Turkish-German Gynecological Association*, vol. 22, no. 1, pp. 58–70, 2021.
- [30] F. Gou, J. Liu, C. Xiao, and J. Wu, “Research on artificial-intelligence-assisted medicine: A survey on medical artificial intelligence,” *Diagnostics (Basel)*, vol. 14, no. 14, p. 1472, 2024.



Tipo de artículo: Artículos de revisión  
Temática: Ingeniería de software  
Recibido: 3/6/2025 | Aceptado: 17/7/2025 | Publicado: 30/9/2025

Identificadores persistentes:  
DOI: [10.48168/innosoft.s24.a292](https://doi.org/10.48168/innosoft.s24.a292)  
ARK: [ark:/42411/s24.a292](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:org:ark:42411/s24.a292)  
PURL: [42411/s24.a292](https://purl.org/42411/s24.a292)

## Revisión Sistemática de la Literatura de la Deuda de Requisitos: Sus Causas y Medición.

### *Systematic Review of the Debt Requirements Literature: Its Causes and Measurement.*

Maria Janai Sanchez Hernández<sup>1</sup>[\[0000-0002-3005-5235\]<sup>\\*</sup>, Maria Guadalupe Medina Barrera<sup>2</sup>\[\\[0000-0003-3074-0029\\]\]\(https://orcid.org/0000-0003-3074-0029\), José Federico Ramírez Cruz<sup>3</sup>\[\\[0000-0002-4468-4171\\]\]\(https://orcid.org/0000-0002-4468-4171\), Blanca Estela Pedroza-Méndez<sup>4</sup>\[\\[0000-0002-9819-635X\\]\]\(https://orcid.org/0000-0002-9819-635X\)](https://orcid.org/0000-0002-3005-5235)

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Apizaco. Apizaco, México.  
[d96370620@apizaco.tecnm.mx](mailto:d96370620@apizaco.tecnm.mx)

<sup>2</sup>Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Apizaco. Apizaco, México.  
[guadalupe.mb@apizaco.tecnm.mx](mailto:guadalupe.mb@apizaco.tecnm.mx)

<sup>3</sup>Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Apizaco. Apizaco, México.  
[federico.rc@apizaco.tecnm.mx](mailto:federico.rc@apizaco.tecnm.mx)

<sup>4</sup>Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Apizaco. Apizaco, México.  
[blanca.pm@apizaco.tecnm.mx](mailto:blanca.pm@apizaco.tecnm.mx)

\*Autor para correspondencia: [d96370620@apizaco.tecnm.mx](mailto:d96370620@apizaco.tecnm.mx)

---

### Resumen

La Deuda Técnica de Requisitos se define como la diferencia entre los requisitos inicialmente planteados y el producto final de software. Este estudio tuvo como objetivo realizar una Revisión Sistemática de la Literatura, basada en una metodología estructurada en tres fases: definición de un protocolo de búsqueda, selección de fuentes científicas relevantes y aplicación de criterios de inclusión y exclusión, seguido de la síntesis de la información recopilada. Se analizaron investigaciones de los últimos cinco años, considerando un total de trece artículos. Los resultados indican que las principales causas de la Deuda Técnica de Requisitos incluyen la falta de documentación formal, la presión por cumplir con plazos de entrega, la deficiente comunicación entre el cliente y el equipo de desarrollo, así como la ausencia de herramientas automatizadas que optimicen la trazabilidad de los requisitos, entre otros factores. Respecto a su medición, se han propuesto estrategias como el análisis costo-beneficio y la estimación de costos de rectificación; sin embargo, aún no se han validado en contextos reales, lo que limita su aplicabilidad práctica. En conclusión, la Deuda Técnica de Requisitos representa un desafío en la ingeniería de software, afectando directamente la calidad y el éxito de los proyectos. Este trabajo proporciona un panorama actualizado que puede servir como fundamento para futuras investigaciones en el área, con el fin de desarrollar estrategias más efectivas para su gestión y posible mitigación.

**Palabras claves:** Deuda de requisitos, deuda técnica de requerimientos, olores de requisitos, causas, medición.

### Abstract

*Technical Requirements Debt is defined as the difference between the initially stated requirements and the final software product. This study aimed to conduct a systematic literature review based on a methodology structured*

*in three phases: definition of a search protocol, selection of relevant scientific sources, and application of inclusion and exclusion criteria, followed by a synthesis of the collected information. Research from the last five years was analyzed, considering a total of thirteen articles. The results indicate that the main causes of Technical Requirements Debt include the lack of formal documentation, pressure to meet deadlines, poor communication between the client and the development team, as well as the absence of automated tools that optimize requirements traceability, among other factors. Regarding its measurement, strategies such as cost-benefit analysis and rectification cost estimation have been proposed; however, these have not yet been validated in real-world contexts, which limits their practical applicability. In conclusion, Technical Requirements Debt represents a challenge in software engineering, directly affecting project quality and success. This work provides an updated overview that can serve as a basis for future research in the area, with the goal of developing more effective strategies for its management and possible mitigation.*

**Keywords:** *Debt of requirements, technical debt of requirements, requirement smells, causes, measurement.*

---

\*

Introducción El concepto de deuda técnica - *Technical Debt* - (TD) fue introducido por Cunningham en 1993 [1] y posteriormente desarrollado por McConnell en 2008 [2]. Este término se refiere al costo futuro que implica tomar decisiones apresuradas en el desarrollo de software. Aunque un lanzamiento acelerado puede ser beneficioso inicialmente, las mejoras necesarias deben implementarse a tiempo; de lo contrario, la deuda acumulada puede derivar en problemas más complejos y costosos de resolver [3] y [4]. En la Tabla 1 se muestra la ampliación del concepto de TD realizada por [5] y [2]. Aquí, la TD es categorizada en cuatro tipos que considera las diferentes decisiones estratégicas que un equipo puede tomar de forma prudente o imprudente.

Tabla 1. Tipos de deuda técnica y sus decisiones estratégicas. Adaptada de Fowler [5].

	<b>Prudente</b>	<b>Imprudente</b>
<b>Deliberado</b>	“Debemos enviar ahora y asumir lo que venga después”.	“No tenemos tiempo para el diseño”.
<b>Involuntario</b>	“Ahora sabemos cómo debía haber sido”.	“¿Qué es diseño por capas?”.

Inicialmente, la deuda técnica se asociaba principalmente con el código fuente. Sin embargo, en [6] ampliaron la metáfora a otras áreas del ciclo de vida del software, incluyendo los requerimientos, pruebas y diseño.

Uno de los tipos de deuda menos explorados es la Deuda Técnica de Requisitos - *Requirement Technical Debt* - (RTD). Al respecto, [7] señala que “se ha prestado poca atención a los requisitos a lo largo del tiempo en el software: los requisitos a menudo están muy desincronizados con la implementación o no se utilizan en absoluto. Sin embargo, los requisitos son la validación definitiva del éxito del proyecto, ya que representan los

deseos de las partes interesadas para el sistema”.

Ahora bien, por su parte [8] identificaron que la deuda técnica puede clasificarse en diez tipos, cada uno con subtipos basados en sus causas. Entre ellos, la RTD que es de particular interés en este estudio por lo que se realiza una Revisión Sistemática de la Literatura (RSL) con el objetivo de identificar causas, así como analizar si hay propuestas de modelos de medición. Los resultados de esta RSL podrían apoyar a investigaciones enfocadas a la evaluación de su impacto y evolución durante el desarrollo de proyectos de software.

En la siguiente sección, se exponen los antecedentes de la RTD, proporcionando un marco que contextualiza el tema de RTD y permite entender su fundamento. A continuación, se desarrolla el proceso de la RSL, detallando los pasos clave, métodos empleados y su relevancia dentro del contexto de la investigación. Finalmente, en el apartado 4 se presentan los hallazgos y conclusiones de este trabajo de revisión, donde se analizan los resultados obtenidos y se proponen futuras áreas de investigación.

## Deuda Técnica de Requisitos (RTD)

La fase de requisitos es una de las fases iniciales del ciclo de vida del desarrollo de software y se considera fundamental debido a su impacto en el éxito del producto final. En esta fase, se llevan a cabo actividades como la elicitación, análisis, negociación, documentación y validación de requisitos. Dado que es el punto en el que los usuarios expresan sus necesidades y se evalúa la viabilidad de desarrollo, existe la posibilidad de incurrir en RTD. En este sentido, la RTD se diferencia de otros tipos de deuda técnica debido a un factor clave: la participación del usuario. En [9], a diferencia de otros tipos de deuda técnica, en la RTD el usuario juega un papel fundamental en la definición de los requisitos y el bucle de retroalimentación, lo que hace que su participación sea especialmente crítica para el éxito del proyecto.

Según N. Ernst la RTD se define como “la distancia entre la solución óptima a un problema de requisitos y la solución real, con respecto a algún espacio de decisión” [7]. De manera similar, en [9] se explica que la RTD captura las consecuencias de decisiones subóptimas tomadas en relación con los requisitos, ya sea de forma deliberada, por razones estratégicas, o inadvertida, debido a cambios en el contexto. Estas decisiones pueden ocurrir durante la identificación, formalización e implementación de los requisitos.

En [10] amplían la definición de N. Ernst y proponen una clasificación de la RTD en tres tipos:

- Tipo 0: Se incurre en esta deuda cuando no se consideran adecuadamente las necesidades de los usuarios, a pesar de que estas han sido expresadas a través de los canales de comunicación establecidos.
- Tipo 1: Surge cuando el ingeniero de requisitos, analista de negocios o desarrollador formaliza las necesi-

dades de los usuarios utilizando “olores de requisitos” -*Requirement Smells*- (RS), es decir, formulaciones lingüísticas que violan estándares como ISO 29148. Esto puede generar requisitos ambiguos que, si no se corrigen, pueden impactar negativamente la implementación.

- Tipo 2: Se presenta cuando los desarrolladores implementan una solución basada en un conjunto de requisitos, pero estos requisitos cambian y la implementación no se ajusta a dichos cambios.

En este mismo sentido, [11], [12] señalan que, incluso en contextos ágiles de desarrollo de software, actividades como la documentación, el modelado, la priorización de los requisitos y la participación de los interesados son prácticas recomendadas. No obstante, estas actividades suelen llevarse a cabo de forma separada e informal, lo que dificulta la comprensión de necesidades, la intergración y el seguimiento. Cuando estas actividades se ejecutan de manera inadecuada, es inminente la aparición de fallos en el desarrollo de software, por lo tanto se incurre en la aparición y acumulación de deuda técnica, específicamente en forma de deuda de requisitos.

## Revisión Sistemática de Literatura de la RTD

El objetivo principal de esta RSL es obtener un vistazo actualizado sobre el concepto de Deuda Técnica de Requisitos, desde 2018 hasta la fecha. Para llevar a cabo esto, se implementó la metodología propuesta por [13] que permite identificar, evaluar e interpretar la investigación actual en el ámbito de la Ingeniería de Software, la cual se sintetizó por [14]. De esta manera, esta RSL busca identificar estudios que aborden y clarifiquen las causas de RTD, así como conocer propuestas de modelos de medición o cuantificación.

Según el procedimiento establecido por [13] la RSL comienza con la definición y revisión de un protocolo que especifica las preguntas de investigación a responder y describe los métodos empleados en el desarrollo de la revisión. La RSL también establece estrategias de búsqueda que permiten evaluar la relevancia de la literatura en diversas bases de datos científicas, garantizando que los estudios seleccionados sean de alta calidad. Asimismo, se deben definir claramente los criterios de inclusión y exclusión para cerciorar que los estudios seleccionados contribuyan efectivamente a la esta RSL.

En este contexto los autores de [14] describen el proceso de la RSL en tres fases: Planificación, Conducción y Documentación, cada una con actividades clave específicas, las cuales se ilustran en la Figura 1 y se detallan en los siguientes apartados de este artículo.



Figura 1. Proceso de RSL. Elaboración propia con base en Tebes et al. [14].

## Planeación

### Preguntas de investigación

El objetivo de esta Revisión Sistemática de la Literatura (RSL) es identificar y analizar de manera rigurosa si existen estudios que ofrezcan una definición clara y objetiva del concepto de “deuda técnica de requisitos”. En caso afirmativo, se pretende que dichos estudios contribuyan a responder las siguientes preguntas de investigación:

**P1.** ¿Cuáles son las causas que originan la deuda técnica de requisitos (RTD)?

**P2.** ¿Qué estrategias se han propuesto para la medición de la RTD?

## Conducción

### Selección de fuentes y cadena de búsqueda

El método de búsqueda utilizado en este estudio consistió en la selección de bibliotecas digitales relevantes para el área de conocimiento, previamente utilizadas y referenciadas en otras revisiones sistemáticas, como se detalla en la Tabla 2. Para ello, se eligieron cinco de las principales bibliotecas digitales que ofrecen artículos de acceso abierto.

Tabla 2. Bibliotecas digitales

Springer Link
Science Direct
IEEEExplore
ACM Digital Library
ArXiv

Para llevar a cabo el proceso de exploración en las bibliotecas digitales, fue necesario diseñar una cadena de búsqueda compuesta por los términos clave relevantes para este estudio, conectados mediante operadores lógicos. Dado que la mayoría de las publicaciones relevantes en el área se encuentran redactadas en inglés, la cadena de búsqueda se formuló exclusivamente en dicho idioma. La expresión final utilizada fue la siguiente:

(“Requirement debt” OR “Requirements Smells”) AND  
(Features OR Causes OR Dimensions OR Factors OR Attributes) AND  
(Measure OR Quantifying)

## Extracción de datos

La búsqueda se llevó a cabo en cada una de las bibliotecas digitales seleccionadas, utilizando la cadena de búsqueda previamente definida. Los resultados preliminares obtenidos se presentan en la Figura 2. Como se puede observar, esta búsqueda inicial arrojó un total de 175 documentos. Durante esta primera etapa automatizada, se aplicaron filtros correspondientes al rango de fechas, la disciplina o área de conocimiento, y el tipo de acceso (limitado a publicaciones de acceso abierto).

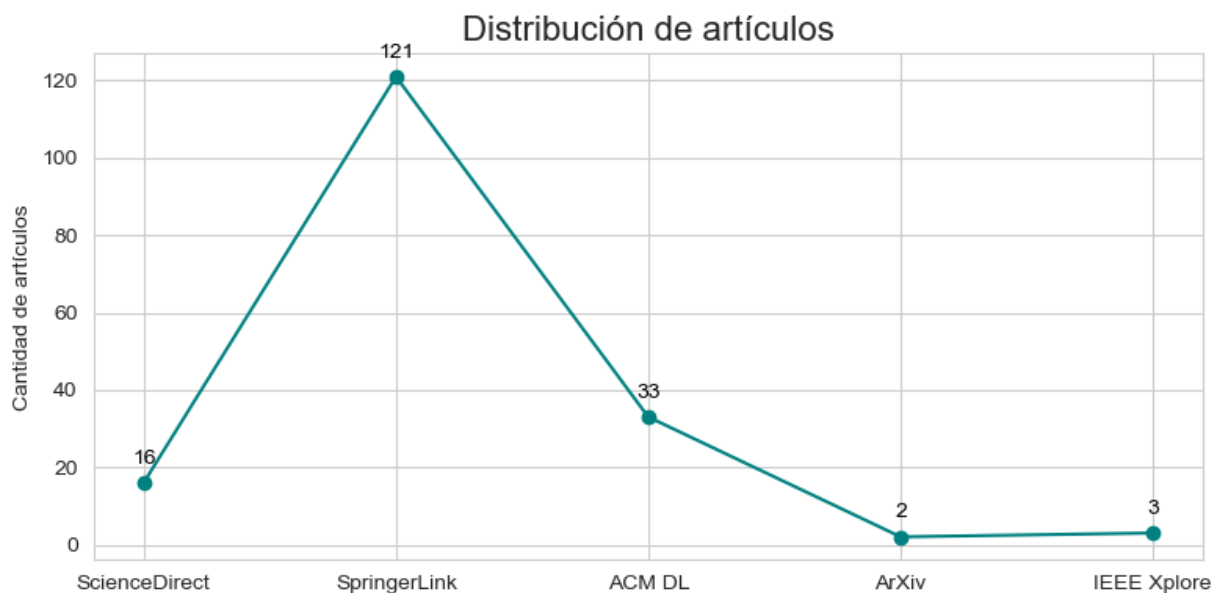


Figura 2. Distribución de artículos en primera búsqueda

La selección de los artículos se realizó mediante un enfoque de lectura en profundidad, comenzando por el título y continuando con el resumen, las palabras clave, la conclusión y, finalmente, el texto completo del artículo. Durante esta etapa, se aplicaron los criterios de inclusión y exclusión previamente establecidos. Se incluyeron aquellos estudios que abordaban las causas y los modelos de cuantificación de la deuda técnica de requisitos, así como aquellos que presentaban estudios de caso en los cuales se describía, directa o indirectamente, el concepto de RTD.

## Criterios de calidad

Los criterios de inclusión y exclusión desempeñan un papel fundamental en la realización de una selección objetiva de estudios. Si estos criterios son demasiado amplios, pueden comprometer la calidad de la RSL y disminuir la confianza en los resultados obtenidos. La Tabla 3 presenta los criterios aplicados durante el proceso de búsqueda y selección de artículos.

Tabla 3. Criterios de inclusión y exclusión

<b>Criterios de Inclusión</b>	Publicaciones entre el año 2018- 2024. Publicaciones del área de computación e ingeniería de software. Publicaciones que incluyan los términos “deuda técnica de requisitos” o “deuda de requerimientos”
<b>Criterios de Exclusión</b>	Publicaciones de acceso restringido. Publicaciones que no contengan deuda de requisitos. Publicaciones sin descripción de metodología. Comentarios publicados en memorias u otros medios.

El Listado de artículos incluidos en esta revisión se presenta en la Tabla 4.

Tabla 4. Demografía de Publicaciones relevantes para la RSL

	<b>Título</b>	<b>Año</b>	<b>Autores</b>	<b>Publicado</b>
Art 1	23 shades of self-admitted technical debt: an empirical study on machine learning software	2022	[15]	ACM
Art 2	Towards Quantifying Requirements Technical Debt for Software Requirements concerning Veracity: A Perspective and Research Roadmap	2024	[16]	ArXiv
Art 3	Integrating Traceability within the IDE to Prevent Requirements Documentation Debt	2018	[17]	IEEE. 44th Euro-micro
Art 4	Quantifying Requirements Technical Debt: A Systematic Mapping Study and a Conceptual Model	2023	[9]	IEEE

	<b>Título</b>	<b>Año</b>	<b>Autores</b>	<b>Publicado</b>
Art 5	Towards a Holistic Definition of Requirements Debt	2019	[10]	IEEE
Art 6	A systematic literature review on Technical Deb prioritization: Strategies, processes, factors, and tools	2021	[18]	Science Direct
Art 7	Architectural design decisions that incur technical debt-An industrial case study	2021	[19]	Science Direct
Art 8	Identification and measurement of Requirements Technical Debt in software development: A systematic literature review	2022	[20]	Science Direct
Art 9	An initial theory to understand and manage requirements engineering debt in practice	2023	[21]	Science Direct
Art 10	Stakeholder influence on technical debt management in the public sector: An embedded case study	2022	[22]	Science Direct
Art 11	Modelling the quantification of requirements technical debt	2024	[23]	Springer
Art 12	Natural Language Requirements Testability Measurement Based on Requirement Smells	2024	[24]	Springer
Art 13	Technical Debt and Waste in Non-Functional Requirements Documentation: An Exploratory Study	2019	[25]	Springer

## Extracción de datos y síntesis

Se llevó a cabo una síntesis de tipo cualitativo, en la cual los estudios seleccionados fueron agrupados según los dos ejes temáticos principales de esta RSL: causas y medición de la deuda técnica de requisitos. Posteriormente, se realizó un análisis comparativo de las distintas propuestas con el objetivo de identificar causas comunes de la RTD, así como enfoques y métodos utilizados para su cuantificación o medición.

## Documentación

La redacción del informe se estructuró en función de cada pregunta de investigación diseñada en esta RSL. En la siguiente sección, se presentan los hallazgos obtenidos a partir del análisis de los estudios seleccionados.

## Hallazgos

### Causas de la RTD

**P1.** ¿ Cuáles son las causas que originan la deuda técnica de requisitos (RTD)?

La deuda técnica de requisitos (RTD) puede originarse a partir de diversos factores. En su investigación, Melo et al. identifican 15 causas principales asociadas a la RTD, las cuales fueron extraídas de la revisión sistemática que llevó a cabo [20]. Además, el autor desarrolla una red que ilustra las relaciones entre dichas causas. Por ejemplo, se destaca que un proceso inadecuado de elicitación de requisitos se encuentra relacionado con una deficiente planificación de entrevistas, lo que impide que el cliente exprese con claridad sus necesidades. Esto da lugar a requisitos ambiguos, incompletos o con un bajo nivel de detalle. Asimismo, la ambigüedad de los requisitos se asocia con un estilo de redacción deficiente y problemas gramaticales, lo que dificulta su interpretación y comprensión.

De manera similar, en [21] se documentan las causas de la RTD surgidas a partir de entrevistas realizadas con profesionales del sector, agrupándolas en cuatro categorías: tiempo, producto, personas y artefactos. En cuanto a las causas relacionadas con el tiempo, estas están asociadas principalmente con los plazos de entrega del producto de software. Las causas vinculadas a las personas se deben, en gran medida, a la falta de conocimiento especializado para implementar ciertos requisitos por parte del equipo, así como a la mala comunicación entre los miembros del equipo y el cliente. Además, la falta de documentación adecuada de los requisitos genera una costosa reelaboración. En este mismo sentido, [23] presenta una recopilación de causas e indicadores de la RTD extraídos de un mapeo sistemático de literatura, destacando aspectos como la ambigüedad en la formalización de los requisitos, la entrega de requisitos incompletos, las soluciones subóptimas, la falta de trazabilidad entre

los requisitos y el código, la ausencia de documentos formales y las limitaciones de tiempo.

En la Tabla 4 se describen las principales causas identificadas en la literatura que pueden generar la RTD. Entre ellas se incluyen la ambigüedad (también conocida como “olores de requisitos”), los plazos de entrega, la falta de documentación formal, la ausencia de estrategias de verificación y validación de los requisitos, problemas de comunicación, la escasez de recursos, la experiencia del equipo y la falta de herramientas especializadas para llevar a cabo este proceso.

En cuanto a la ambigüedad, los estudios reportados en Art2, Art4, Art6, Art8 y Art12 coinciden en que la ambigüedad de los requisitos es una causa clave de la RTD. Un requisito que no utiliza un lenguaje claro y preciso puede dar lugar a malinterpretaciones de las necesidades, como lo menciona en [16]: “Una desviación menor de los requisitos es estrictamente un fallo que puede causar daños fundamentales al producto de software definitivo”. La ambigüedad puede analizarse a través de la presencia o ausencia de sustantivos, verbos, adverbios y adjetivos dentro de la definición de los requisitos.

Por otro lado, la causa relacionada con el tiempo es mencionada en los estudios Art3, Art6, Art7, Art9, Art10 y Art11, desde la perspectiva de que los plazos limitados frecuentemente obligan a tomar decisiones apresuradas (intencionadas), resultando en la entrega de productos de software que no cumplen completamente con las especificaciones, o en productos que cumplen parcialmente pero no son efectivos ni eficientes. Esto, a su vez, contribuye a la presencia de RTD en los proyectos. Esta variable está estrechamente vinculada con la priorización de los requisitos, como se describe en los estudios Art2, Art8 y Art11, que señalan que a menudo se seleccionan requisitos que no aportan valor inmediato al cliente.

Además, los trabajos Art3, Art4, Art5, Art8, Art9, Art10, Art11, Art12 y Art13 destacan que la falta de un documento formal que describa las necesidades del cliente o usuario, junto con una redacción deficiente, dificulta la comprensión de los requisitos, lo que impacta negativamente en la aparición de RTD.

De igual manera, las propuestas presentadas en Art10, Art11 y Art12 abordan el concepto de verificación/validación de los requisitos. Se considera que un requisito que pasa por una fase de revisión alcanza un nivel de confianza, mientras que la ausencia de verificación aumenta la probabilidad de que el proyecto enfrente RTD en las etapas posteriores del ciclo de vida del software.

Finalmente, los estudios Art1, Art2, Art10 y Art11 subrayan que los cambios (volatilidad) en los requisitos o en el contexto del proyecto pueden ser problemáticos, ya que pueden dar lugar a una falta de trazabilidad entre los requisitos y el código, tal como lo menciona Art3.

En relación con las causas, la comunicación, ya sea entre los miembros del equipo, entre diferentes áreas o

con el cliente, juega un papel crucial. Si los canales de comunicación no son adecuados, la información puede volverse deficiente, lo que a su vez genera una falta de comprensión de los requisitos, tal como se señala en los estudios Art2, Art8 y Art11. Además, la complejidad de los requisitos es otro factor identificado como causa de RTD, según Art2 y Art8.

Una causa que es mencionada exclusivamente en el estudio Art7 es la limitación de recursos. Este factor podría considerarse relevante, ya que, en ausencia de recursos suficientes para abordar la complejidad del proyecto, es común que se prioricen actividades más económicas de desarrollar, dejando de lado aquellas que aportan mayor valor al usuario o cliente.

Asimismo, la falta de conocimientos o experiencia del equipo frente a un proyecto determinado se considera una causa significativa de la RTD, como se menciona en Art11 y Art13. De manera similar, la ausencia de herramientas automatizadas especializadas para la definición de requisitos también se identifica como una causa relevante de la RTD, según Art3, Art12 y Art13.

Tabla 5. Causas de la RTD identificadas en la literatura

Núm. de Artículo	Causas identificadas
Art 1	Cambios en las especificaciones de requisitos, intenciones poco claras y actualizaciones en cascada. Requisitos funcionales que requieren cambios futuros Requisitos No funcionales, que no cumplen con los estándares (rapidez, memoria, seguridad, etc)
Art 2	Inadecuada recopilación/ambigüedad Priorización de requisitos Implementación parcial Complejidad de los requisitos Variabilidad contextual
Art 3	Requerimientos insuficientes o incompletos (casos de uso, historias de usuario, SRS) baja calidad Requisitos obsoletos Trazabilidad de los requisitos Comunicación entre los departamentos Limitación de tiempo (falta de comprensión) Falta de comunicación con los clientes Uso de aplicaciones distintas para documentar
Art 4	Falta de entendimiento de las necesidades de los clientes Ambigüedades Olores de requisitos Requisitos incompletos
Art 5	Documentación ineficiente de requerimientos (olores de requisitos)
Art 6	Tiempo empresarial Falta de claridad de los requisitos Prácticas de refactorización insuficientes

Núm. de Artículo	Causas identificadas
Art 7	Limitación de tiempo Limitación de recursos Baja comprensión de los requisitos
Art 8	Bajo nivel de documentación Requerimientos ambiguos No definición de requerimientos no funcionales Requerimientos vagos o incompletos Falta de comunicación con el cliente Atajos y soluciones alternativas Presiones de calendario No reflejar las necesidades del cliente Falta de experiencia Inadecuada priorización de requisitos Mala redacción Entrevistas no planeadas Falta de guiones Requisitos complejos Mala elicitación
Art 9	Tiempo Producto Personas Artefactos
Art 10	Calendario (tiempo) Mala documentación Falta de verificación de requisitos Cambios de contexto
Art 11	Las ineficiencias en la identificación y estimación de los requisitos Ineficiencias en la especificación de los requisitos u olores de los requisitos Brecha de comunicación entre los miembros del equipo Fechas de entrega (limitaciones de tiempo) Volatilidad de los requisitos Falta de comunicación con los clientes Falta de pruebas de requisitos Falta de experiencia y conocimientos Falta de documentación
Art 12	Requerimientos olorosos (escritos con lenguaje subjetivo, ambigüedades) Interpretación errónea de los requisitos dado el lenguaje ambiguo y subjetivo Longitud de los requisitos Falta de comprobación de los requisitos Falta de metodologías para documentar los requisitos.
Art 13	La falta de documentación de los requisitos No funcionales (mantenibilidad, fiabilidad, usabilidad y rendimiento) Tamaño del proyecto Tipo de proyecto Falta de conocimiento para documentar este tipo de requisitos Falta de herramientas

En la Figura 3 se presenta la distribución de las principales causas identificadas en cada investigación, destacando que las causas más frecuentemente citadas son: la ambigüedad en la redacción de los requisitos (conocida como “olores de requisitos”), los problemas relacionados con el tiempo, la ausencia de un documento formal de requisitos, la volatilidad de los requisitos y los problemas de comunicación.

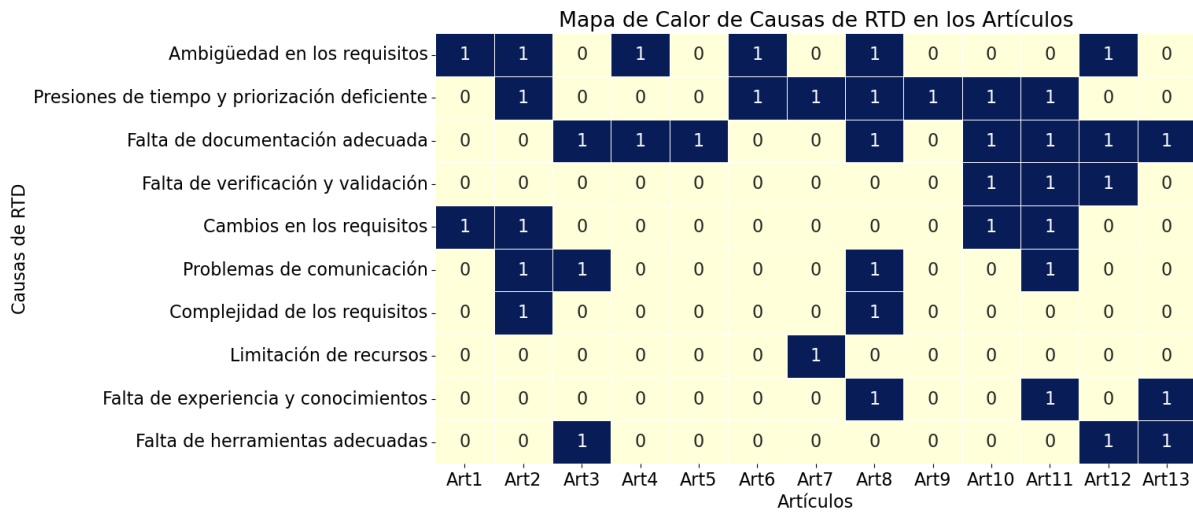


Figura 3. Distribución de causas de RTD encontrada en artículos

## Estrategias de medición de la RTD

### P2. ¿Qué estrategias se han propuesto para la medición de la RTD?

El proceso de medición se entiende como la actividad de analizar y cuantificar los costos y esfuerzos necesarios para gestionar adecuadamente la deuda técnica [8], [9]. En este sentido, es crucial contar con estrategias de medición y cuantificación que permitan evaluar el impacto de la deuda técnica y facilitar una toma de decisiones más efectiva.

Una propuesta relevante de medición es la presentada en [16], los autores introducen el concepto de “Veracidad de requisitos”, una categoría específica vinculada a la confianza, autenticidad y demostrabilidad. Los requisitos de veracidad pueden ser tanto funcionales como no funcionales. Para los requisitos funcionales, se debe verificar que los datos integrados al software sean correctos. En el caso de los requisitos no funcionales, se debe evaluar la fiabilidad, disponibilidad y rendimiento, es decir, la manera en que los datos son accedidos, almacenados, mantenidos y recuperados, como parte de sus atributos de calidad. Según esta perspectiva, la RTD debe cuantificarse considerando tanto los requisitos funcionales como no funcionales, dependiendo del contexto de desarrollo.

La propuesta de Perera et al. [16] se alinea con los conceptos del Método de Análisis Costo-Beneficio (CBAM), que implica identificar los requisitos con deuda, evaluar el costo de su corrección, valorar los beneficios esperados

de dicha corrección y calcular cuáles aportan mayor valor con menor esfuerzo, priorizándolos en consecuencia. Además, se toma en cuenta la Teoría Moderna de la Cartera (MPT), que organiza los requisitos en términos de su valor y el riesgo asociado a su implementación, seleccionando aquellos que minimicen el riesgo y maximicen el beneficio. La estimación de la deuda de requisitos de veracidad puede influir significativamente en la selección de la arquitectura que se implementará.

Además, Perera et al. [9], [23] identificaron 57 conceptos relacionados con la cuantificación de la RTD, los cuales fueron clasificados en cuatro categorías: proceso o tiempo, costo, beneficio y probabilidad. Estos conceptos fueron agrupados en un total de 14 elementos, los cuales se representaron en un mapa relacional diseñado para modelar los aspectos clave de la cuantificación de la RTD.

- a) Costo de implementación de requisitos: Las necesidades del usuario se capturan en requisitos que generan un costo, el cual corresponde al costo total de la implementación de uno o más requisitos formalizados.
- b) Modelado de artefactos: Esto incluye aspectos como los “olores de requisitos”, requisitos insuficientes, incompletos o desfasados.
- c) Costo de rectificación de la RTD: Se modela el proceso de rectificación de la RTD, el cual puede incurrir en un costo dependiendo de la etapa en que se realice. Este costo también está asociado con la atención de necesidades descuidadas.
- d) Interés y probabilidad de la RTD: Se considera el costo asociado a la aclaración de un requisito ambiguo, la realización de entrevistas adicionales, o la resolución de desajustes. Además, se evalúa la probabilidad de que un requisito no tenga impacto.
- e) Modelado de componentes de interés: Esto incluye el costo adicional relacionado con la realización de entrevistas adicionales con los usuarios si las necesidades capturadas están incompletas.
- f) Beneficio de la rectificación: Se evalúa tanto el beneficio de rectificar la RTD como el beneficio de abordar la RTD a corto plazo.

Otra propuesta de medición es la presentada en [10], quienes proponen estrategias para cuantificar los tres tipos de deuda técnica que ellos definen de la siguiente manera:

- Tipo 0: Cuantificar el costo de implementar necesidades no atendidas. Esto debe considerar el interés relacionado con la etapa de desarrollo actual, ya que, a medida que se avanza en el desarrollo, el costo de abordar estas necesidades aumentará.
- Tipo 1: Cuantificar el costo de corregir los “olores de requisitos”. En este caso, se debe tener en cuenta el impacto que esta corrección tendrá en otras actividades del proyecto.
- Tipo 2: Cuantificar la diferencia entre la implementación actual y los “olores de requisitos”. Esto implica

comparar la implementación existente con los posibles cambios, considerando tanto el costo principal como el interés involucrado. La solución propuesta debe ser la mejor posible para optimizar los resultados.

Por su parte, Melo et al. [20] identificaron 16 estrategias para identificar y medir la RTD, que incluyen la revisión de los requisitos con el cliente, la comunicación, la revisión entre pares, el análisis de costo-beneficio, enfoques de cuantificación, el enfoque de vecinos más cercanos, diagramas de causa y efecto, acciones de prevención, mapas de pagos, identificación a través de normas ISO/IEC/IEEE 29148:2018 [26] y plantillas de documentación. Además, se identificaron varias métricas que pueden ser utilizadas para la medición, tales como:

- Principal: Esfuerzo requerido para completar una tarea que no ha sido atendida.
- Interés: Se refiere a la penalización que se deberá pagar, es decir, el trabajo adicional necesario para alcanzar la completitud o corrección de los requisitos.

En [20] también consideran el enfoque de decisión si-if, que establece que la deuda debe ser pagada cuando el costo principal es más bajo que el interés. Otro enfoque propuesto es el cuándo-when, que determina cuándo debe pagarse la deuda, evaluando si es conveniente hacerlo en el periodo actual o si puede esperar.

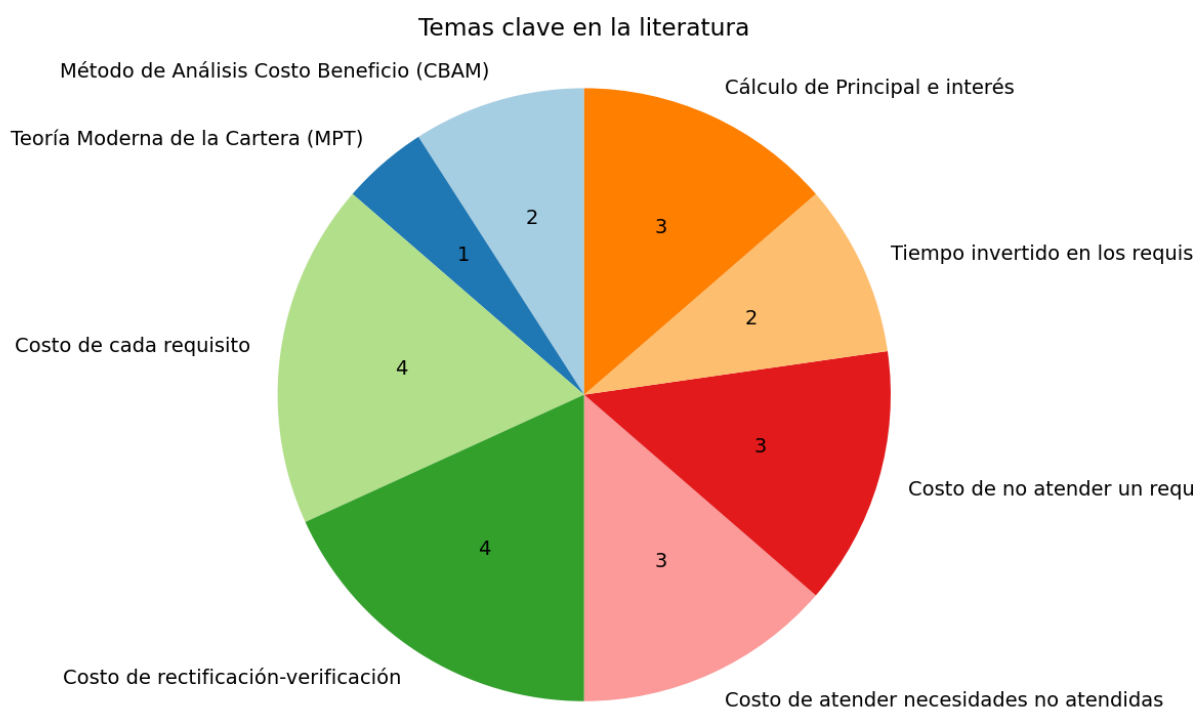


Figura 4. Temas identificados en la literatura

## Discusión

Esta Revisión Sistemática de Literatura (RSL) nos permitió investigar el estado actual en cuanto a las causas de la deuda de requisitos y las propuestas de medición realizadas en los últimos cinco años. Se revisaron 13 artículos que se consideraron relevantes para responder las preguntas de investigación planteadas inicialmente.

## Conclusiones y trabajos futuros

Las decisiones tomadas para alcanzar los objetivos dentro de una organización enfocada en el desarrollo de software recaen sobre los miembros del equipo y pueden tener un impacto significativo en el producto, el equipo, el cliente y la empresa. Esta RSL ha permitido identificar que el tema de RTD es un área de oportunidad para profundizar en la investigación.

\*

Agradecimientos Agradecemos al Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Apizaco, así como al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías, por el apoyo brindado para la realización de este trabajo.

\*

Contribución de Autoría Maria Janai Sanchez Hernández: [Conceptualización](#), [Investigación](#), [Metodología](#), [Redacción](#) - [borrador original](#). Maria Guadalupe Medina Barrera: [Conceptualización](#), [Supervisión](#), [Escritura](#), [revisión y edición](#). José Federico Ramírez Cruz: [Metodología](#), [Análisis formal](#). Blanca Estela Pedroza-Méndez: [Validación](#), [Curación de datos](#).

## Referencias

- [1] W. Cunningham, “The WyCash portfolio management system,” *ACM SIGPLAN OOPS Messenger*, vol. 4, no. 2, pp. 29–30, 1993.
- [2] S. McConnell, “Managing Technical Debt,” 2008, available: [www.construx.com/whitepapers](http://www.construx.com/whitepapers).
- [3] Z. S. H. Abad and G. Ruhe, “Using real options to manage Technical Debt in Requirements Engineering,” in *2015 IEEE 23rd International Requirements Engineering Conference (RE)*, 2015, pp. 230–235.
- [4] C. Berenguer *et al.*, “Technical Debt is not Only about Code and We Need to be Aware about It,” in *XX Brazilian Symposium on Software Quality*, 2021, pp. 1–12.
- [5] F. Martin, “Technical Debt Quadrant,” 2025, available: <https://martinfowler.com/bliki/TechnicalDebtQuadrant.html>.
- [6] N. Brown *et al.*, “Managing technical debt in software-reliant systems,” in *Proceedings of the FSE/SDP workshop on Future of software engineering research*, 2010, pp. 47–52.
- [7] N. A. Ernst, “On the role of requirements in understanding and managing technical debt,” in *2012 3rd International Workshop on Managing Technical Debt (MTD)*, 2012, pp. 61–64.
- [8] Z. Li, P. Avgeriou, and P. Liang, “A systematic mapping study on technical debt and its management,” *Journal of Systems and Software*, vol. 101, pp. 193–220, 2015.
- [9] J. Perera, E. Tempero, Y. C. Tu, and K. Blincoe, “Quantifying Requirements Technical Debt: A Systematic Mapping Study and a Conceptual Model,” in *2023 IEEE 31st International Requirements Engineering Conference (RE)*, 2023, pp. 123–133.

- [10] V. Lenarduzzi and D. Fucci, “Towards a Holistic Definition of Requirements Debt,” in *International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement*, 2019.
- [11] V. Bonfim and F. Benitti, “Requirements debt: causes, consequences, and mitigating practices,” 2022, pp. 13–18.
- [12] V. D. Bonfim and F. B. V. Benitti, “Ontored: Requirements debt ontology,” 2024.
- [13] B. Kitchenham *et al.*, “Systematic literature reviews in software engineering – A systematic literature review,” *Inf Softw Technol*, vol. 51, no. 1, pp. 7–15, 2009.
- [14] G. Tebes *et al.*, “Proceso para Revisión Sistemática de Literatura y Mapeo Sistemático,” 2020.
- [15] D. O'Brien *et al.*, “23 shades of self-admitted technical debt: an empirical study on machine learning software,” in *Proceedings of the 30th ACM Joint European Software Engineering Conference*, 2022, pp. 734–746.
- [16] J. Perera *et al.*, “Towards Quantifying Requirements Technical Debt for Software Requirements concerning Veracity,” 2024, arXiv: 2407.00391.
- [17] S. Charalampidou *et al.*, “Integrating traceability within the IDE to prevent requirements documentation debt,” in *44th Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications (SEAA)*, 2018, pp. 421–428.
- [18] V. Lenarduzzi *et al.*, “A systematic literature review on Technical Debt prioritization: Strategies, processes, factors, and tools,” *Journal of Systems and Software*, vol. 171, 2021.
- [19] M. Soliman, P. Avgeriou, and Y. Li, “Architectural design decisions that incur technical debt — An industrial case study,” *Inf Softw Technol*, vol. 139, 2021.
- [20] A. Melo *et al.*, “Identification and measurement of Requirements Technical Debt in software development: A systematic literature review,” *Journal of Systems and Software*, vol. 194, p. 111483, 2022.
- [21] J. Frattini *et al.*, “An initial theory to understand and manage requirements engineering debt in practice,” *Inf Softw Technol*, vol. 159, p. 107201, 2023.
- [22] M. E. Nielsen and C. Madsen, “Stakeholder influence on technical debt management in the public sector: An embedded case study,” *Gov Inf Q*, vol. 39, no. 3, 2022.
- [23] J. Perera *et al.*, “Modelling the quantification of requirements technical debt,” *Requir Eng*, vol. 29, no. 4, pp. 421–458, 2024.

- [24] M. Zakeri-Nasrabadi and S. Parsa, “Natural Language Requirements Testability Measurement Based on Requirement Smells,” 2024, arXiv: 2403.17479.
- [25] G. Robiolo *et al.*, “Technical Debt and Waste in Non-Functional Requirements Documentation: An Exploratory Study,” 2019, arXiv: 1909.12716.
- [26] ISO/IEC/IEEE, “Systems and software engineering – Life cycle processes – Requirements engineering,” 2025, available: <https://standards.ieee.org/ieee/29148/6937/>.



Tipo de artículo: Artículos de revisión  
Temática: Inteligencia Artificial  
Recibido: 08/06/2025 | Aceptado: 13/07/2025 | Publicado: 30/09/2025

Identificadores persistentes:  
DOI: [10.48168/innosoft.s24.a201](https://doi.org/10.48168/innosoft.s24.a201)  
ARK: [ark:/42411/s24.a201](https://nbn-resolving.org/ark:/42411/s24.a201)  
PURL: [42411/s24.a201](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:pe:ulasalle:innosoft-42411-s24-a201)

# Analizando atributos clave de la IA y tecnologías para autenticación biométrica en hospitales inteligentes

## *Analyzing key attributes of AI and technologies for biometric authentication in smart hospitals*

César Alexander Acuña Cisneros<sup>1</sup>[\[0009-0008-9317-6895\]](https://orcid.org/0009-0008-9317-6895)<sup>\*</sup>, Carlos Daniel Gutiérrez Sandoval<sup>2</sup>[\[0009-0002-3988-0191\]](https://orcid.org/0009-0002-3988-0191), Alberto Carlos Mendoza De Los Santos<sup>3</sup>[\[0000-0002-0469-915X\]](https://orcid.org/0000-0002-0469-915X)

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Trujillo. Perú. [cacuna@unitru.edu.pe](mailto:cacuna@unitru.edu.pe)

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Trujillo. Perú. [t1013300221@unitru.edu.pe](mailto:t1013300221@unitru.edu.pe)

<sup>3</sup>Universidad Nacional de Trujillo. Perú. [amendozad@unitru.edu.pe](mailto:amendozad@unitru.edu.pe)

\* Autor para correspondencia: [cacuna@unitru.edu.pe](mailto:cacuna@unitru.edu.pe)

---

### Resumen

La presente revisión sistemática examina el uso de inteligencia artificial (IA) en la autenticación biométrica para hospitales inteligentes, enfocándose en cuales son las propuestas tecnológicas más eficientes y usados en el mundo para mejorar la seguridad y protección de datos médicos y que no se tengan acceso no autorizado a ellos. La IA, a través de redes neuronales y algoritmos de machine learning sumados a los usos en conjunto con la seguridad biométrica, ha demostrado aumentar la precisión en la identificación de individuos y la detección de comportamientos anómalos que podrían indicar accesos no autorizados. La metodología PRISMA incluyó una búsqueda detallada de estudios científicos utilizando términos clave combinados con operadores booleanos, seleccionando artículos relevantes siguiendo criterios de inclusión y exclusión. Los resultados reflejan que la integración de IA en la autenticación biométrica refuerza la seguridad en cuanto a un acceso controlado, protección y seguridad de datos. Los estudios analizados muestran que el uso de biometría multimodal y algoritmos avanzados no solo mejora la fiabilidad del proceso, sino que también reduce los falsos positivos, lo cual es crucial en la gestión de datos sensibles. La combinación de diversas características biométricas, como reconocimiento facial y análisis de señales fisiológicas, vienen demostrando ser eficaces incluso en ámbitos médicos.

**Palabras claves:** análisis de riesgos, ciberseguridad, detección de intrusos, privacidad de datos, sistemas de salud

### Abstract

*This systematic review examines the use of artificial intelligence (AI) in biometric authentication for smart hospitals, with a particular focus on identifying the most efficient and widely used technological approaches in the world to improve the security and protection of medical data from unauthorized access. The integration of artificial intelligence (AI) through neural networks and machine learning algorithms with biometric security has been demonstrated to enhance the precision of individual identification and the detection of irregular behavior that may indicate unauthorized access. The PRISMA methodology entailed a comprehensive search of scientific studies employing key terms in conjunction with Boolean operators, followed by the selection of pertinent*

*articles in accordance with pre-established inclusion and exclusion criteria. The results demonstrate that the incorporation of AI into biometric authentication systems enhances security in terms of controlled access, protection, and data security. The analyzed studies indicate that the deployment of multimodal biometrics and advanced algorithms not only improves the reliability of the process, but also reduces false positives, which is crucial in the management of sensitive data. The combination of various biometric features, such as facial recognition and physiological signal analysis, has proven to be effective even in medical settings.*

**Keywords:** *risk analysis, cybersecurity, intrusion detection, data privacy, health systems*

---

## Introducción

La autenticación biométrica ha adquirido relevancia como una solución esencial para mejorar la seguridad y la exactitud en la identificación de personas en diferentes sectores industriales. Con el fin de asegurar la protección y confidencialidad de los datos sensibles, los hospitales con tecnología avanzada necesitan implementar sistemas sofisticados que verifiquen la identidad de los usuarios y identifiquen posibles irregularidades de manera inmediata. En el presente escenario, la inteligencia artificial (IA) ha evidenciado su utilidad en el mejoramiento de la autenticación biométrica y la detección de amenazas en infraestructuras críticas. La conexión de la inteligencia artificial en el proceso de autenticación biométrica no solo incrementa la exactitud en la identificación de individuos, sino que también posibilita la detección de conductas anómalas que podrían sugerir actividades fraudulentas o intentos de acceso no permitidos. En los hospitales inteligentes, es de vital importancia la identificación de irregularidades, ya que los datos médicos y personales están expuestos con frecuencia a posibles ciberataques. La mejora de la autenticación de sistemas se logra mediante el uso de inteligencia artificial, específicamente redes neuronales y algoritmos de aprendizaje profundo. Estos elementos permiten analizar las interacciones de los usuarios, lo que resulta en un aumento de la fiabilidad del proceso. La creación de perfiles seguros es un aspecto fundamental para reducir los errores en la identificación de personas. En espacios críticos, múltiples estudios han destacado la relevancia de utilizar la inteligencia artificial en el ámbito de la seguridad biométrica. Budżys et al. [1] presentaron un modelo de autenticación fundamentado en técnicas de aprendizaje profundo con el propósito de identificar posibles riesgos internos en infraestructuras críticas, específicamente en el contexto de hospitales inteligentes. En un estudio previo, Annadurai et al. [2] desarrollaron un sistema de detección de intrusiones que utiliza autenticación biométrica asistida por inteligencia artificial. Este sistema tiene como objetivo reforzar la seguridad de la información y resguardar los sistemas hospitalarios interconectados. Para lograr esto, se emplean técnicas de obtención de características y agrupación [3]. La implementación de la fusión de datos biométricos de venas y formas de dedos mediante una red neuronal convolucional (CNN) multimodal podría mejorar la seguridad de los sistemas biométricos en entornos hospitalarios inteligentes. Esta tecnología ofrece una capa suplementaria de seguridad en el acceso a los recursos médicos y a la información de los pacientes. En un estudio reciente, Aanjanadevi et al. [4] introdujeron un sistema sustentado en redes neuronales convolucionales que incrementa la seguridad de

la información mediante la combinación de biometría facial y criptografía. Este sistema proporciona un nivel adicional de protección en la especialización de la medicina. El objetivo de esta investigación es encontrar una respuesta a la pregunta de qué tecnologías ofrecen una mayor seguridad biométrica para la detección de anomalías en hospitales inteligentes basados en IA. Asimismo, se llevará a cabo un análisis cuantitativo de las publicaciones desde 2018 sobre este tema, centrando la atención en los espacios de publicación más relevantes. Se espera que esto brinde un conocimiento del estado existente de la investigación en esta área, así como de cómo la IA está redefiniendo la seguridad en los hospitales inteligentes.

## Metodología

Las revisiones sistemáticas son de gran relevancia en una investigación ya que ofrecen una visión completa del conocimiento disponible en un tema particular, lo cual facilita identificar áreas que requieren un mayor estudio y formular nuevas preguntas de investigación [5]. Estas revisiones permiten descubrir problemas en investigaciones previas que necesitan ser corregidos y ayudan a desarrollar o verificar teorías sobre fenómenos relevantes. En ese sentido, al momento de realizar un análisis integral de publicaciones previas, es muy común que se presenten diversas interrogantes como saber por dónde exactamente se debe comenzar, la selección adecuada del tema o la cantidad de artículos a incluir en la revisión. Ante ello, Morales [6] nos exhorta la importancia de seleccionar una metodología apropiada que ofrezca una guía clara y estructurada, que facilite el proceso de revisión, pero a la vez asegure un enfoque coherente y sistemático. Una de las diferentes metodologías existentes es la denominada metodología PRISMA, la cual es un conjunto de directrices diseñado para fortalecer la calidad de estos documentos. Esta metodología apareció por primera vez en el área de la salud como una solución a la necesidad de estandarizar la presentación de los estudios que se realizaban, dado que la falta de consistencia en los informes dificultaba la evaluación y la interpretación de los resultados [7]. Posteriormente extendió su alcance a diversas disciplinas y hasta la actualidad es ampliamente utilizado para guiar a una realización correcta. La metodología PRISMA busca proporcionar a los autores una guía clara sobre qué información incluir en sus informes, agilizando la creación y documentación de las revisiones al mismo tiempo que aumenta la confianza en los hallazgos presentados, aspecto fundamental a la hora de tomar decisiones en diversos ámbitos de aplicación [8]. Para realizar el proceso de una manera estandarizada, La metodología PRISMA establece un riguroso sistema para llevar a cabo las revisiones [9,10], comenzando con la identificación de palabras clave para buscar literatura pertinente. Además, se definen criterios de inclusión y exclusión que aseguran que solo se consideren los estudios significativos para el desarrollo de la investigación. Incluso, se elabora un flujograma que ilustra los pasos seguidos al elegirlos, indicando cuántos fueron identificados, excluidos en cada fase y finalmente incluidos en el análisis. Teniendo en cuenta lo antes mencionado, este estudio se optó por realizarse siguiendo esta metodología PRISMA, ya que nos va a permitir analizar los estudios científicos e identificar de manera rigurosa los que son más relevantes para nuestra revisión.

## Ecuaciones de búsqueda

Para iniciar con el proceso de recolección de data, en primer lugar, seleccionamos algunos repositorios o fuentes de información de los cuales obtendremos los documentos que se utilizaron en la revisión. Dichos repositorios fueron las siguientes: SCOPUS, MDPI, SCIENCE DIRECT, IEEE XPLORE y PUBMED. Luego identificamos las principales palabras clave referentes a nuestro estudio que trata sobre el uso de la IA y la biometría en la autenticación y detección de anomalías en hospitales inteligentes. Estas palabras clave nos permiten filtrar nuestros resultados para encontrar solo la información más pertinente de revisión. Las palabras claves utilizadas en cada repositorio se muestran a en la siguiente tabla:

Tabla 1. Palabras claves utilizadas en cada repositorio

REPOSITORIO	CADENA DE BÚSQUEDA
SCOPUS	biometric AND authentication AND artificial AND intelligence AND security OR hospitals
MDPI	security AND biometric AND authentication AND artificial AND intelligence AND hospitals
SCIENCE DIRECT	artificial AND intelligence AND biometric AND authentication AND security AND hospital
IEEE XPLORE	biometric AND security AND hospital
PUBMED	biometric AND Authentication AND hospital

## Criterios de inclusión y exclusión

Al referirnos a estos criterios, hablamos de pautas específicas definidas al realizar una revisión y cuya función es decidir qué estudios o artículos se incluirán y cuáles se excluirán debido a su relevancia en el estudio. Todos estos criterios planteados se explicitan a continuación.

Tabla 2. Criterios de inclusión planteados para la selección de artículos

N°	CRITERIO DE INCLUSIÓN (CI)
CI1	Artículos publicados en inglés o español
CI2	Artículos publicados desde 2018 hasta la fecha de la búsqueda
CI3	Artículos sobre IA aplicada en seguridad de datos, biometría y gestión de hospitales inteligentes

Tabla 3. Criterios de exclusión planteados para la selección de artículos

N°	CRITERIO DE EXCLUSIÓN (CE)
<b>CE1</b>	Artículos que no estén en el rango de años establecido (2018 – 2024)
<b>CE2</b>	Artículos cuyo título no esté relacionado directamente con el tema de investigación
<b>CE3</b>	Artículos cuyo abstract no aborde específicamente aspectos clave o relevantes del estudio

### Recolección de información

La búsqueda inicial se realizó siguiendo los criterios presentados en la Tabla 2 además tomando en cuenta las palabras claves seleccionadas para cada fuente de información y las cuales están explicadas en la Tabla 1. Luego de realizar esta consulta en cada repositorio obtuvimos un total de 480 artículos, como se aprecia en la siguiente tabla:

Tabla 4. Número de artículos encontrados en cada repositorio

REPOSITORIO	NÚMERO DE ARTÍCULOS ENCONTRADOS
<b>SCOPUS</b>	149
<b>MDPI</b>	47
<b>SCIENCEDIRECT</b>	116
<b>IEEEEXPLORE</b>	109
<b>PUBMED</b>	59
<b>TOTAL</b>	<b>480</b>

En seguida, estos artículos encontrados fueron depurados por los revisores utilizando los criterios de exclusión presentados en la Tabla 3 a fin de poder tener una apreciación más cercana sobre el contenido desarrollado en cada uno y así poder seleccionar los artículos que ofrezcan la mayor cantidad de información pertinente y relevante para nuestro estudio. Este proceso aseguró que los documentos resultantes del filtro sean confiables y oportunos para el proceso actual de revisión. En la tabla 5 se proporciona un detalle de la cantidad de artículos obtenidos en cada repositorio luego de realizar los filtros correspondientes en cada uno:

Tabla 5. Cantidad de artículos seleccionados después de hacer el respectivo filtrado

<b>N° ARTÍCULOS</b>	<b>SCO</b>	<b>MDPI</b>	<b>SD</b>	<b>IEEE</b>	<b>PUB</b>
<b>CANTIDAD TOTAL</b>	149	47	116	109	59
<b>APLICANDO CE1</b>	105	44	114	69	31
<b>APLICANDO CE2</b>	15	25	14	12	11
<b>APLICANDO CE3</b>	10	7	6	6	5
<b>TOTAL</b>	<b>34</b>				

Asimismo, para mostrar de manera más entendible el proceso se realizó el siguiente flujograma donde se representa los pasos seguidos para el filtrado de artículos.

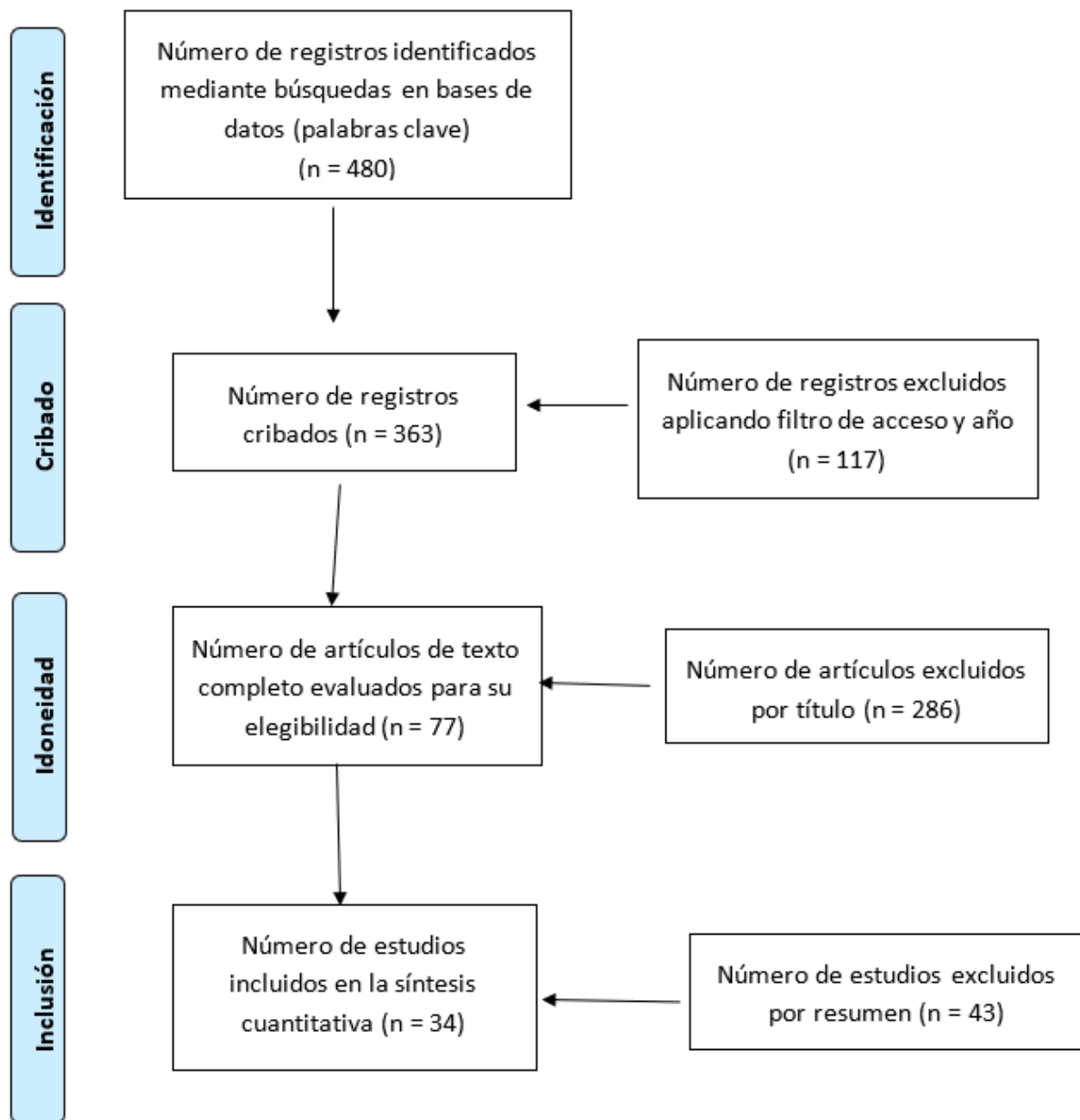


Figura 1. Flujograma PRISMA utilizado en esta revisión

## Resultados

Una vez aplicado los diferentes criterios mencionados en las secciones anteriores, como resultado se obtuvo 34 artículos que cumplían con los requisitos establecidos. La Tabla 6 presentada a continuación nos brinda un panorama detallado de cada uno de estos artículos, lo que permite observar la relevancia del tema tratado, así como sus aportes más importantes:

Tabla 6. Resultados de selección final y su respectivo enfoque de investigación

Nº	AUTORES	ATRIBUTOS	TIPO	TECNOLOGÍA
1	Budžys, Arnoldas; Kurasova, Olga; Medvedev, Viktor	ciberseguridad, biometría	Propuesta de modelo de identificación biométrica [1]	Deep Learning, biometría
2	Annadurai, C.; Nelson, I.; Devi, K.N.; Masud, M.; Jeque, A.	Seguridad de datos, resiliencia ante ataques, ciberseguridad, control de acceso, inteligencia artificial	Propuesta de sistema de detección de intrusos [2]	Inteligencia Artificial (IA), IoT, Redes Neuronales Convolucionales (VGG-16), Análisis de Componentes Principales (KPCA)
3	Wan Kim, Jong Min Song, Parque Kang Ryoung	Ciberseguridad, biometría, protección de datos, machine learning	Reconocimiento biométrico multimodal basado en CNN [3]	Redes Neuronales Convolucionales (CNN), Sensor de Infrarrojo Cercano (NIR), Biometría Multimodal, reconocimiento de venas y forma de los dedos
4	Aanjanadevi, S.; Aanjankumar, S.; Ramela, K.R.; Palanisamy, V.	Protección de datos, ciberseguridad, autenticación, privacidad de datos	Propuesta de sistema de seguridad biométrica para protección de datos [4]	Redes Neuronales Convolucionales (CNN), Biometría Facial, Criptografía, IA

Continúa en la siguiente página

Nº	AUTORES	ATRIBUTOS	TIPO	TECNOLOGÍA
5	Khan, H.U.; Malik, M.Z.; Nazir, S.; Khan, F.	Ciberseguridad, resiliencia ante ataques, protección de datos, inteligencia artificial	Propuesta de análisis sobre la implementación de sistemas biométricos en la banca [11]	Biometría, ciberseguridad, Inteligencia Artificial (IA), IoT
6	Mainetti, L.; Panarrese, P.; Vergallo, R.	Autenticación, biometría, ciberseguridad, privacidad de datos, inteligencia artificial	Propuesta de un modelo autenticación continua a través de hábitos del usuario [12]	Inteligencia Artificial (IA), Internet de las Cosas (IoT), meta-modelos, autenticación continua, datos de hábitos
7	Bordel, B.; Alcarria, R.; Robles, T.	Ciberseguridad, autenticación, biometría, protección de datos, control de acceso	Cifrado ligero para sistemas de autenticación biométrica [13]	Cifrado simétrico ligero, Pseudo Random Number Generator (PRNG), comunicaciones inalámbricas de corto alcance
8	Al Ghamdi, A.S.M.A.; Ragab, M.	Ciberseguridad, autenticación, biometría, protección de datos, inteligencia artificial	Técnica de autenticación biométrica basada en inteligencia artificial [14]	Inteligencia Artificial (IA), DenseNet-77, Redes Neuronales Profundas (DNN)
9	Maharjan, P.; Shrestha, K.; Bhatta, T.; Lee, S.; Parque, J.Y.	Ciberseguridad, autenticación, biometría, protección de datos, inteligencia artificial	Autenticación biométrica utilizando nanogeneradores híbridos [15]	Inteligencia Artificial (IA), Redes Neuronales Artificiales, Nanogeneradores Híbridos, Sensores Triboeléctricos y Electromagnéticos, Keystroke Dynamics

Continúa en la siguiente página

Nº	AUTORES	ATRIBUTOS	TIPO	TECNOLOGÍA
10	Shivanna, Preetha; Venkatesiah, Sheela Samudrala	Autenticación, biometría, seguridad de datos, machine learning	Autenticación biométrica mediante reconocimiento facial [16]	Red Neuronal Siamesa, IA, Reconocimiento Facial
11	Gabriela Quintanilla Mendoza	Privacidad de datos, ciberseguridad, protección de datos, biometría	Legislación, en el uso de sistemas biométricos para la identificación personal [17]	Biometría, Reglamento General de Protección de Datos (GDPR), Seguridad, Privacidad
12	Mahmoud Elkhodr, Samiya Khan, Ergun Gide	Ciberseguridad, privacidad de datos, seguridad de datos, inteligencia artificial	Middleware semántico para la gestión segura de datos en IoT utilizando blockchain y AI [18]	Internet de las Cosas (IoT), Blockchain, Inteligencia Artificial (IA), Anotación Semántica, Middleware
13	Roberto O. Andrade, Walter Fuertes, María Cazares, Iván Ortiz-Garcés, Gustavo Navas	Ciberseguridad, inteligencia artificial, protección de datos, resiliencia ante ataques, inteligencia artificial	Intersección de ciencias cognitivas y IA para la protección contra ciberataques [19]	Ciencia Cognitiva, Inteligencia Artificial (IA), minería de textos, metodología PRISMA, ciberseguridad cognitiva
14	Sandeep Kumar et al.	Biometría, ciberseguridad, protección de datos	Sistema biométrico avanzado utilizando U-Net y Alex-Net [20]	U-Net, Alex-Net, Biometría Facial, Reconocimiento Facial

Continúa en la siguiente página

Nº	AUTORES	ATRIBUTOS	TIPO	TECNOLOGÍA
15	Jan Herbst et al.	Ciberseguridad, privacidad de datos, autenticación, protección de datos, inteligencia artificial	Marco de comunicación basado en tokens para la seguridad y autenticación en redes inalámbricas de área corporal (WBAN) [21]	Redes Inalámbricas de Área Corporal (WBAN), Inteligencia Artificial (IA), Cifrado Totalmente Homomórfico
16	Vasile-Daniel Păvăloaia, George Husac	Ciberseguridad, protección de datos, control de acceso, machine learning	Reconocimiento facial utilizando aprendizaje automático y análisis de componentes principales (PCA) [22]	Aprendizaje Automático (ML), Análisis de Componentes Principales (PCA), AdaBoost, MySQL, Reconocimiento Facial
17	Farhad Ahamed et al.	Autenticación, biometría, ciberseguridad, protección de datos, inteligencia artificial	Autenticación biométrica multimodal para dispositivos y usuarios en atención sanitaria [23]	Inteligencia Artificial (IA), IoT, Biometría Multimodal
18	Kholoud Y. Najmi et al.	Control de acceso, privacidad de datos, integridad de datos	Identificación de protocolos [24]	IoT, criptografía, autenticación de dos factores, biometría
19	Ali Seyfizadeh et al.	Control de acceso, seguridad de datos	Propuesta de modelo de identificación biométrica [25]	Biometría, Deep Learning, CWT

Continúa en la siguiente página

Nº	AUTORES	ATRIBUTOS	TIPO	TECNOLOGÍA
20	Feng Wang, Yongjie Gai, Haitao Zhang	Privacidad de datos, control de acceso, resiliencia ante ataques	Propuesta de gestión de datos de identidad digital [26]	Blockchain, big data, digital twins, zero trust
21	Anastasia Levina et al.	Seguridad de datos, control de acceso, integridad de datos	Propuesta de sistema de gestión hospitalaria inteligente [27]	Wearables, IoT, cifrado E2EE, autenticación MFA, firewalls
22	Omar Alruwaili et al.	Protección de datos, control de acceso, resiliencia ante ataques, integridad de datos	Propuesta de mecanismos AKA (Authenticated Key Agreement) [28]	IoT, PUFs, cifrado simétrico, autenticación de dos vías (AKA)
23	Ghita Lazrek et al.	Resiliencia ante ataques, protección de datos, biometría, Machine Learning	Propuesta de sistema de detección de intrusiones [29]	Machine Learning, biometría, decisions trees
24	Abhishek Jain, Khushboo Tripathi	Control de acceso, seguridad de datos, integridad de datos, biometría	Propuesta de Framework de Hadoop MapReduce [30]	Redes Neuronales Recurrentes (RNN), estandarización HL7, firmas biométricas
25	Tuan-Vinh Le et al.	Control de acceso, seguridad de datos, privacidad de datos, biometría	Propuesta de sistema Centerless User-Controlled Single Sign-On (CL-UCCSSO) [31]	Firma criptográfica, 6G, biometría, biohash, blockchain

Continúa en la siguiente página

Nº	AUTORES	ATRIBUTOS	TIPO	TECNOLOGÍA
26	Deming Mao, Huihong Liu, Wei Zhang	Seguridad de datos, control de acceso, resiliencia ante ataques, biometría	Esquema de Autenticación de Tres Factores [32]	Criptografía Rabin, verificador difuso, biometría, protocolos, sistema MMIS
27	Aravindhraj Natara- jan, N. Shanthi	Control de acceso, privacidad de datos, seguridad de datos, biometría	Propuesta de sistema biométrico multimodal [33]	Biometría, algoritmos criptográficos, fusion levels
28	Tingting Fu et al.	Control de acceso, seguridad de datos, biometría, autenticación	Propuesta de sistema de autenticación doble (EMG) [34]	Biometría, GRABMyo, ANOVA, Sensores EMG
29	Vincent Omollo Nyangaresi	Control de acceso, seguridad de datos, biometría, autenticación	Protocolo de autenticación de tres factores [35]	Biosensores, lógica BAN, public internet, biometría, Wireless Body Area Networks
30	Nan Wan et al.	Control de acceso, seguridad de datos, inteligencia artificial	Propuesta sistema de identificación mediante dispositivos implantables [36]	Microchips subcutáneos, biometría, códigos QR, imágenes por ultrasonido, Algoritmos de inteligencia artificial
31	Gabriel Guízar-Sahagún et al.	Seguridad de datos, biometría, machine learning, integridad de datos	Sistema de biometría dactilar [37]	machine learning, biometría, procesos digitales, verificación automatizada

Continúa en la siguiente página

Nº	AUTORES	ATRIBUTOS	TIPO	TECNOLOGÍA
32	Minoru Sawa et al.	Control de acceso, seguridad de datos, resiliencia ante ataques, biometría	Propuesta de sistema de autenticación biométrica [38]	Biometría, sistemas electrónicos, análisis estadístico
33	Tanushree Singh et al.	Control de acceso, seguridad de datos, biometría, integridad de datos, autenticación	Evaluación de la fiabilidad del sistema BIR para autenticación e identificación personal [39]	Reconocimiento biométrico de iris (BIR), análisis de distancia de Hamming
34	Dhananjay Nigam et al.	Control de acceso, autenticación, resiliencia ante ataques, inteligencia artificial	Sistemas de autenticación inteligentes de 2 factores [40]	Reconocimiento facial y por voz, redes neuronales, Análisis de señales ECG y EEG, base de datos, biometría, criptografía

Luego de un minucioso análisis de los 34 artículos seleccionados, se hace evidente que diferentes autores utilizan un amplio rango de atributos en sus investigaciones sobre IA, biometría y seguridad informática. Los atributos que pudimos encontrar y los cuales se encuentran documentados de manera explícita en la tabla 6 fueron (Ciberseguridad, Biometría, Resiliencia ante ataques, Protección de datos, Autenticación, Privacidad de datos, Seguridad de datos, Control de acceso, Inteligencia Artificial, Machine learning, Integridad de datos). Ahora bien, para poder atender al objetivo central de nuestra investigación, se decidió realizar una clasificación de los atributos antes mencionados y para ello a continuación se presenta de forma clara en tabla 7:

Tabla 7. Distribución de atributos obtenidos de cada artículo seleccionado

<b>ATRIBUTO</b>	<b>APARICIONES EN LOS ARTÍCULOS</b>
<b>Ciberseguridad</b>	15
<b>Biometría</b>	18
<b>Resiliencia ante ataques</b>	9
<b>Protección de datos</b>	14
<b>Autenticación</b>	11
<b>Privacidad de datos</b>	8
<b>Seguridad de datos</b>	15
<b>Control de acceso</b>	18
<b>Inteligencia Artificial</b>	12
<b>Machine learning</b>	5
<b>Integridad de datos</b>	6

Adicionalmente se muestra el porcentaje de atributos aplicados en los artículos seleccionados. Debemos destacar que los atributos Biometría y Control de acceso son los que más mencionan y prevalecen dentro de los artículos revisados, representando cada uno el 13.74% del total. Seguidos de igual manera por otros dos atributos, los cuales son Ciberseguridad y Seguridad de datos, cada uno representando un 11.45% del total.

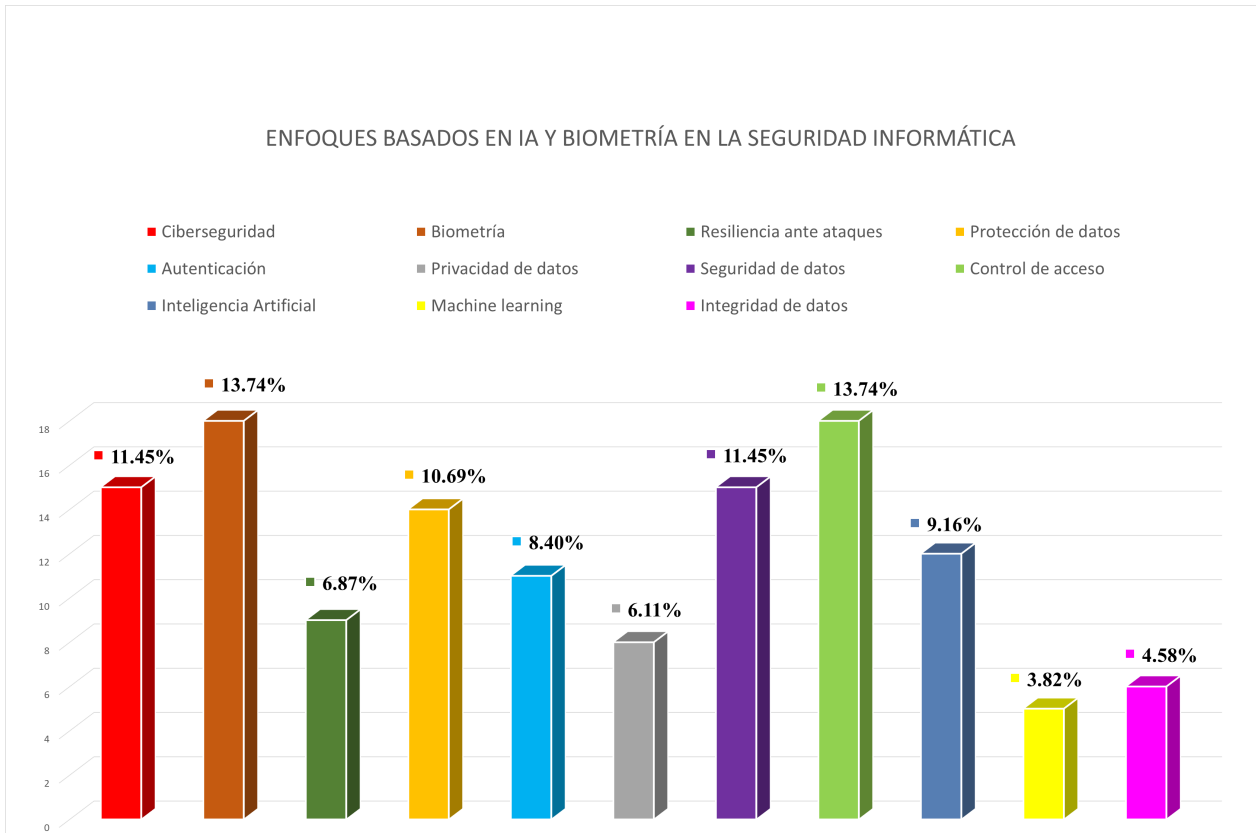


Figura 2. Distribución porcentual de los atributos encontrados

## Discusión

La significancia de la inteligencia artificial en la identificación y confirmación de anomalías en hospitales inteligentes a través de la autenticación biométrica es resaltada por la revisión sistemática. En la introducción se destaca la importancia de esta tecnología en la salvaguarda de información confidencial y en la prevención de accesos no autorizados. Los progresos en Inteligencia Artificial han propiciado el desarrollo de modelos más precisos y resistentes, los cuales contribuyen a fortalecer la seguridad en las infraestructuras de los hospitales. Los resultados obtenidos en relación con los atributos fundamentales de las tecnologías basadas en inteligencia artificial para la seguridad biométrica en hospitales inteligentes se enfocan en cuatro aspectos principales: control de acceso, protección de datos, seguridad de la información y análisis predictivo. La implementación de estos atributos, según varios estudios, mejora la credibilidad de los sistemas de autenticación, disminuye los falsos positivos y garantiza la integridad de la información médica. La implementación de esta medida no solo contribuye al fortalecimiento de la confiabilidad de los usuarios y los expertos de la asistencia médica,

sino que también mejora la productividad y la seguridad en la administración de datos sensibles dentro de las infraestructuras hospitalarias, al optimizar el flujo de trabajo. Ahamed et al. [23] proponen que la autenticación biométrica multimodal, que incluye el aprendizaje profundo y diversas fuentes biométricas, es crucial para mejorar la confiabilidad del sistema y disminuir los falsos positivos. La capacidad de la inteligencia artificial para aprender e interpretar patrones de comportamiento es otro factor crítico a considerar lo que facilita la identificación temprana de amenazas. Păvăloaia y Husac [22] resaltan la utilización de algoritmos y metodologías de machine learning, como el análisis de componentes principales (PCA), para mejorar el reconocimiento facial y reducir el acceso no autorizado. Debido al flujo continuo de información médica, estas capacidades preventivas son esenciales para la protección de los datos en los hospitales. Además, las redes inalámbricas de área corporal (WBAN) son un componente crucial de los sistemas de monitoreo de pacientes. La integración de IA en estos sistemas protege los datos médicos y mejora la comunicación y el tratamiento de información sensible. Los resultados de esta investigación confirman que la aplicabilidad de la inteligencia artificial para la autenticación biométrica y la detección de amenazas en entornos hospitalarios es una solución escalable y eficaz para proteger la integridad de los datos médicos [21]. La evaluación de varias tecnologías biométricas, como el reconocimiento facial y el análisis de señales fisiológicas, refuerza la idea de que la combinación de múltiples características biométricas puede mejorar significativamente la autenticación biométrica en hospitales inteligentes. Las redes neuronales avanzadas que combinan datos biométricos (edad, género y expresión facial) proporcionan resultados extremadamente precisos en el contexto hospitalario y mejoran la seguridad de los sistemas de identificación y acceso [20].

## Conclusiones

Podemos notar que la IA se presenta como un recurso de gran importancia para la autenticación biométrica y la detección de anomalías en hospitales inteligentes, cumpliendo con el objetivo de identificar las tecnologías más efectivas para la protección de datos médicos en infraestructuras críticas. Los resultados de esta revisión refuerzan la importancia de tecnologías como el aprendizaje profundo y la biometría multimodal, que mejoran la fiabilidad de los controles de acceso al igual que mantienen los datos seguros y en privado para intrusos, tal como se identificó en la introducción de este estudio. El presente estudio aporta de manera relevante al ámbito al resaltar la capacidad de la Inteligencia Artificial para identificar riesgos a través del análisis de patrones de comportamiento, lo cual resulta en una mejora de la seguridad en las infraestructuras de hospitales. Se proporciona una evaluación detallada de los enfoques más prometedores, lo cual constituye una base sólida para investigadores y desarrolladores interesados en el campo de la seguridad biométrica. En futuras investigaciones, se podría enfocar en la aplicación de dichas tecnologías en entornos menos desarrollados, como en naciones latinoamericanas, donde persiste un considerable potencial sin investigar. Sería de gran utilidad investigar nuevas estrategias para personalizar y hacer escalables estas soluciones, centrándose en la integración

efectiva de tecnologías de Inteligencia Artificial en sistemas hospitalarios a nivel mundial. Esta revisión no solo contribuye al avance del conocimiento actual sobre autenticación biométrica, sino que también propone nuevas orientaciones para el desarrollo tecnológico, lo cual facilita el progreso hacia un entorno hospitalario más seguro y eficiente.

## Contribución de Autoría

Cesar Alexander Acuña Cisneros: [Conceptualización](#), [Investigación](#), [Metodología](#), [Análisis formal](#), [Validación](#), [Redacción - borrador original](#), [Curación de datos](#), [Escritura](#), [revisión y edición](#), [Visualización](#). Carlos Daniel Gutiérrez Sandoval: [Conceptualización](#), [Investigación](#), [Metodología](#), [Análisis formal](#), [Validación](#), [Visualización](#), [Redacción - borrador original](#), [Curación de datos](#), [Escritura](#), [revisión y edición](#). Alberto Carlos Mendoza de los Santos: [Redacción - borrador original](#), [Curación de datos](#), [Validación](#), [Visualización](#).

## Referencias

- [1] A. Budżys, O. Kurasova, and V. Medvedev, “Deep learning-based authentication for insider threat detection in critical infrastructure,” *Artif. Intell. Rev.*, vol. 57, no. 10, August 2024.
- [2] C. Annadurai *et al.*, “Biometric authentication-based intrusion detection using artificial intelligence internet of things in smart city,” *Energies*, vol. 15, no. 19, p. 7430, October 2022.
- [3] W. Kim, J. M. Song, and K. R. Park, “Multimodal biometric recognition based on convolutional neural network by the fusion of finger-vein and finger shape using near-infrared (nir) camera sensor,” *Sensors*, vol. 18, no. 7, p. 2296, July 2018.
- [4] S. Aanjanadevi, S. Aanjankumar, K. R. Ramela, and V. Palanisamy, “Face attribute convolutional neural network system for data security with improved crypto biometrics,” *Comput. Syst. Sci. Eng.*, pp. 1–12, 2023.
- [5] M. J. Page *et al.*, “Declaración prisma 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas,” *Rev. Esp. Cardiol.*, vol. 74, no. 9, pp. 790–799, 2021.
- [6] W. G. B. Morales, “Análisis de prisma como metodología para revisión sistemática: Una aproximación general,” *Saúde em Redes*, vol. 8, no. sup1, pp. 339–360, 2022.
- [7] S. Sánchez-Serrano, I. Pedraza-Navarro, and M. Donoso-González, “¿cómo hacer una revisión sistemática siguiendo el protocolo prisma?: Usos y estrategias fundamentales para su aplicación en el ámbito educativo a través de un caso práctico,” *Bordón Rev. Pedagog.*, vol. 74, no. 3, pp. 51–66, 2022.

- [8] M. J. Page *et al.*, “Prisma 2020 explanation and elaboration: updated guidance and exemplars for reporting systematic reviews,” *BMJ*, vol. 372, p. n160, 2021.
- [9] C. Y. nez Baeza, R. A. Aguilera-Eguía, H. Fuentes-Barría, and A. Roco-Videla, “Importance of the prisma guideline,” *Nutr. Hosp.*, vol. 40, no. 3, pp. 670–675, 2023.
- [10] M. L. Rethlefsen *et al.*, “Prisma-s: An extension to the prisma statement for reporting literature searches in systematic reviews,” *Syst. Rev.*, vol. 10, no. 1, p. 39, 2021.
- [11] H. U. Khan, M. Z. Malik, S. Nazir, and F. Khan, “Utilizing bio metric system for enhancing cyber security in banking sector: A systematic analysis,” *IEEE Access*, p. 1, 2023.
- [12] L. Mainetti, P. Panarese, and R. Vergallo, “Wox+: A meta-model-driven approach to mine user habits and provide continuous authentication in the smart city,” *Sensors*, vol. 22, no. 18, p. 6980, September 2022.
- [13] B. Bordel, R. Alcarria, and T. Robles, “Lightweight encryption for short-range wireless biometric authentication systems in industry 4.0,” *Integr. Computer-Aided Eng.*, vol. 29, no. 2, pp. 153–173, March 2022.
- [14] A. S. A.-M. AL-Ghamdi and M. Ragab, “Artificial intelligence techniques based learner authentication in cybersecurity higher education institutions,” *Comput., Mater. Continua*, vol. 72, no. 2, pp. 3131–3144, 2022.
- [15] P. Maharjan *et al.*, “Keystroke dynamics based hybrid nanogenerators for biometric authentication and identification using artificial intelligence,” *Adv. Sci.*, vol. 8, no. 15, p. 2100711, June 2021.
- [16] P. Shivanna and S. S. Venkatesiah, “Biometric identification for a secured environment using ai-based facial recognition,” *Int. J. Saf. Secur. Eng.*, vol. 14, no. 1, pp. 185–190, February 2024.
- [17] G. Q. Mendoza, “Legislación, riesgos y retos de los sistemas biométricos,” *Rev. Chil. Derecho Tecnol.*, vol. 9, no. 1, p. 63, June 2020.
- [18] M. Elkhodr, S. Khan, and E. Gide, “A novel semantic iot middleware for secure data management: Blockchain and ai-driven context awareness,” *Future Internet*, vol. 16, no. 1, p. 22, January 2024.
- [19] R. O. Andrade *et al.*, “An exploratory study of cognitive sciences applied to cybersecurity,” *Electronics*, vol. 11, no. 11, p. 1692, May 2022.
- [20] S. Kumar *et al.*, “Face spoofing, age, gender and facial expression recognition using advance neural network architecture-based biometric system,” *Sensors*, vol. 22, no. 14, p. 5160, July 2022.

- [21] J. Herbst *et al.*, “Medical data in wireless body area networks: Device authentication techniques and threat mitigation strategies based on a token-based communication approach,” *Network*, vol. 4, no. 2, pp. 133–149, April 2024.
- [22] V.-D. Păvăloaia and G. Husac, “Tracking unauthorized access using machine learning and pca for face recognition developments,” *Information*, vol. 14, no. 1, p. 25, December 2022.
- [23] F. Ahamed *et al.*, “An intelligent multimodal biometric authentication model for personalised healthcare services,” *Future Internet*, vol. 14, no. 8, p. 222, July 2022.
- [24] K. Y. Najmi *et al.*, “A survey on security threats and countermeasures in iot to achieve users confidentiality and reliability,” *Mater. Today*, vol. 81, pp. 377–382, 2023.
- [25] A. Seyfizadeh *et al.*, “Enhancing security in brain-computer interface applications with deep learning: Electroencephalogram-based user identification,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 253, p. 124218, 2024.
- [26] F. Wang, Y. Gai, and H. Zhang, “Blockchain user digital identity big data and information security process protection based on network trust,” *J. King Saud Univ. - Comput. Inf. Sci.*, vol. 36, no. 4, p. 102031, 2024.
- [27] A. Levina *et al.*, “Towards a smart hospital: Smart infrastructure integration,” *J. Open Innov.*, vol. 10, no. 3, p. 100339, 2024.
- [28] O. Alruwaili *et al.*, “Securing the iot-enabled smart healthcare system: A puf-based resource-efficient authentication mechanism,” *Heliyon*, vol. 10, no. 18, p. e37577, 2024.
- [29] G. Lazrek *et al.*, “An rfe/ridge-ml/dl based anomaly intrusion detection approach for securing iomt system,” *Results Eng.*, vol. 23, p. 102659, 2024.
- [30] A. Jain and K. Tripathi, “Biometric signature authentication scheme with rnn (biosig\_rnn) machine learning approach,” in *2018 3rd International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I)*, 2018, pp. 298–305.
- [31] T.-V. Le *et al.*, “A novel three-factor authentication protocol for multiple service providers in 6g-aided intelligent healthcare systems,” *IEEE Access*, vol. 10, pp. 28 975–28 990, 2022.
- [32] D. Mao, H. Liu, and W. Zhang, “An enhanced three-factor authentication scheme with dynamic verification for medical multimedia information systems,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 167 683–167 695, 2019.
- [33] A. Natarajan and N. Shanthi, “A survey on multimodal biometrics authentication and template protection,” in *2018 International Conference on Intelligent Computing and Communication for Smart World (I2C2SW)*, 2018, pp. 64–71.

- [34] T. Fu *et al.*, “Comparison of wrist and forearm emg for multi-day biometric authentication,” *Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc.*, vol. 2023, pp. 1–4, 2023.
- [35] V. O. Nyangaresi, “Privacy preserving three-factor authentication protocol for secure message forwarding in wireless body area networks,” *Ad Hoc Netw.*, p. 103117, 2023.
- [36] N. Wan *et al.*, “Implantable qr code subcutaneous microchip using photoacoustic and ultrasound microscopy for secure and convenient individual identification and authentication,” *Photoacoustics*, vol. 31, p. 100504, 2023.
- [37] G. Guízar-Sahagún, I. Grijalva-Otero, and I. Madrazo-Navarro, “Fingerprints: origin, uses and challenges in the face of its verification failure,” *Rev. Med. Inst. Mex. Seguro Soc.*, vol. 59, no. 6, pp. 568–573, 2021.
- [38] M. Sawa, T. Inoue, and S. Manabe, “Biometric palm vein authentication of psychiatric patients for reducing in-hospital medication errors: a pre-post observational study,” *BMJ Open*, vol. 12, no. 4, p. e055107, 2022.
- [39] T. Singh, S. Zaka-Ur-Rab, and S. Arrin, “Effect of pupil dilation on biometric iris recognition systems for personal authentication,” *Indian J. Ophthalmol.*, vol. 71, no. 1, pp. 57–61, 2023.
- [40] D. Nigam *et al.*, “Biometric authentication for intelligent and privacy-preserving healthcare systems,” *J. Healthc. Eng.*, vol. 2023, p. 9821301, 2023.



Tipo de artículo: Artículos de revisión  
Temática: Ingeniería de software  
Recibido: 13/07/2025 | Aceptado: 30/08/2025 | Publicado: 30/09/2025

Identificadores persistentes:  
DOI: [10.48168/innosoft.s24.a309](https://doi.org/10.48168/innosoft.s24.a309)  
ARK: [ark:/42411/s24.a309](https://nbn-resolving.org/ark:/42411/s24.a309)  
PURL: [42411/s24/a309](https://purl.org/42411/s24/a309)

# Algoritmos de machine learning para la predicción de la demencia: Revisión sistemática

## *Machine learning algorithms for dementia prediction: A systematic review*

Ricardo Dario Mendoza Rivera<sup>1</sup>[\[0000-0001-8744-4736\]](mailto:rmendoza@unitru.edu.pe), Lecca Rengifo Maria Alexandra<sup>2</sup>[\[0009-0001-0898-1224\]](mailto:t1033300321@unitru.edu.pe), Guido Haro Marco Lucas<sup>3</sup>[\[0000-0003-1490-5479\]](mailto:mguido@unitru.edu.pe)<sup>\*</sup>, Cruz Ulloa Leydi Marisol<sup>4</sup>[\[0009-0001-7924-1549\]](mailto:T1023300521@unitru.edu.pe), Huamanchumo Gordillo Alexander Saul<sup>5</sup>[\[0009-0008-7571-6245\]](mailto:t1033300121@unitru.edu.pe), Quispe Sanchez Edward Steven<sup>6</sup>[\[0009-0005-0770-2288\]](mailto:esquispes@unitru.edu.pe)

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú. [rmendoza@unitru.edu.pe](mailto:rmendoza@unitru.edu.pe)

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú. [t1033300321@unitru.edu.pe](mailto:t1033300321@unitru.edu.pe)

<sup>3</sup>Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú. [mguido@unitru.edu.pe](mailto:mguido@unitru.edu.pe)

<sup>4</sup>Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú. [T1023300521@unitru.edu.pe](mailto:T1023300521@unitru.edu.pe)

<sup>5</sup>Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú. [t1033300121@unitru.edu.pe](mailto:t1033300121@unitru.edu.pe)

<sup>6</sup>Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú. [esquispes@unitru.edu.pe](mailto:esquispes@unitru.edu.pe)

\*Autor para correspondencia: [mguido@unitru.edu.pe](mailto:mguido@unitru.edu.pe)

---

### Resumen

El trabajo a continuación aborda la identificación de los algoritmos usados en machine learning para la detección temprana de demencia o daño cognitivo degenerativo, en la actualidad uno de los principales desafíos clínicos y socioeconómicos de este siglo. Indica los algoritmos más relevantes en machine learning que con su alta confiabilidad y eficacia están ganando terreno en un mundo mucho más tecnológico. La metodología usada corresponde a las normativas de la declaración PRISMA, utilizando repositorios de alta exigencia investigativa como SCOPUS, SCIELO, IEEE XPLORE, SAGE JOURNAL y GOOGLE ACADEMICO encontrando 15 trabajos que cumplan con todos los criterios establecidos. Los resultados de la revisión en estos trabajos encontraron muchas comparaciones por estudio académico, entre los modelos más utilizados destacan Random Forest y SVM, los cuales han mostrado precisiones superiores al 85 % en múltiples estudios. Las conclusiones afirman la relevancia de Machine Learning como herramienta tecnológica en la detección de demencia y sus variedades, indicando oportunidades para investigaciones futuras, particularmente en casos de estudio más específicos donde el uso de la tecnología es indispensable para ayudar al ser humano.

**Palabras claves:** Algoritmos, Demencia, Detección, Machine Learning.

### Abstract

*The following work addresses the identification of algorithms used in machine learning for the early detection of dementia or degenerative cognitive impairment, currently one of the main clinical and socioeconomic challenges of this century. It indicates the most relevant machine learning algorithms that, with their high reliability and effectiveness, are gaining ground in a much more technological world. The methodology used corresponds to the PRISMA declaration standards, using highly demanding research repositories such as SCOPUS, SCIELO,*

*IEEE XPLORE, SAGE JOURNAL, and GOOGLE SCHOLAR, finding 15 works that met all established criteria. The results of the review in these works found many comparisons by academic study. Among the most widely used models are Random Forest and SVM, which have shown accuracies above 85 % in multiple studies. The conclusions affirm the relevance of Machine Learning as a technological tool in the detection of dementia and its varieties, indicating opportunities for future research, particularly in more specific case studies where the use of technology is essential to assist humans.*

**Keywords:** *Algorithms, Dementia, Detection, Machine Learning.*

---

## Introducción

El incremento en la esperanza de vida ha generado un aumento paralelo en la prevalencia de trastornos neurocognitivos, siendo la demencia uno de los principales desafíos clínicos y socioeconómicos de este siglo. Este síndrome de deterioro progresivo compromete funciones cognitivas esenciales como la memoria, el lenguaje y el razonamiento, afectando la autonomía del paciente e interfiriendo en sus actividades cotidianas. La enfermedad de Alzheimer constituye su causa más frecuente, y aunque su incidencia se relaciona con el envejecimiento, no representa una consecuencia inevitable del mismo.

A pesar de décadas de investigación, los mecanismos fisiopatológicos subyacentes aún no se comprenden completamente y no existe, hasta la fecha, un tratamiento capaz de detener o revertir su progresión. Las principales características neuropatológicas incluyen la acumulación de placas de  $\beta$ -amiloide y ovillos neurofibrilares de proteína tau, altamente asociadas al proceso de neurodegeneración [1]. Además del impacto clínico, las personas con demencia presentan un riesgo de mortalidad dos veces mayor en comparación con grupos sin la enfermedad, así como una alta carga de comorbilidades que aceleran el deterioro funcional. Esta condición también repercute intensamente en el bienestar emocional de los cuidadores, quienes suelen experimentar elevados niveles de estrés y síntomas depresivos [2].

El escenario demográfico actual —marcado por un creciente envejecimiento poblacional— anticipa un aumento significativo en la carga económica de los sistemas de salud. Para contextualizar, en 2014 los costos directos atribuibles a la enfermedad de Alzheimer en Estados Unidos alcanzaron los 214 mil millones de dólares [3]. Frente a la falta de tratamientos curativos y al alto impacto social, el estudio del pronóstico de la demencia se vuelve fundamental. Las estimaciones pronósticas no solo permiten identificar patrones de progresión, sino que también apoyan a las instituciones en la planificación de recursos y a los pacientes y sus familias en la comprensión de la enfermedad. Para lograr esto, es esencial contar con datos clínicos fiables provenientes de ensayos clínicos y estudios longitudinales como ADNI, FINGER o SNAC [4].

Por otro lado [5] tenemos la tecnología de Machine Learning que es un área de la inteligencia artificial que

engloba un conjunto de técnicas que hacen posible el aprendizaje automático a través del entrenamiento con grandes volúmenes de datos. Para [6] esta tecnología ofrece un alto potencial y precisión en la predicción de fenómenos de comportamiento no lineal, tales como los trastornos mentales, en este caso la demencia. Según [7] todo este conocimiento es proporcionado gracias a la Ciencia de Datos mediante la técnica del Machine Learning.

En este contexto, el diagnóstico temprano adquiere especial relevancia, particularmente en etapas prodrómicas como el deterioro cognitivo leve, donde la progresión hacia demencia es variable y difícil de anticipar mediante métodos convencionales [8]. Ante este reto, los algoritmos de machine learning han emergido como herramientas prometedoras, capaces de analizar grandes volúmenes de datos multimodales e identificar patrones complejos que serían difíciles de detectar manualmente [1], [2], [8]. Una revisión sistemática reciente evidenció un incremento significativo en los estudios que emplean machine learning para modelar el riesgo de progresión hacia demencia tipo Alzheimer, a partir de datos clínicos estructurados, neuroimágenes, variables demográficas, resultados de laboratorio y notas médicas extraídas de historias clínicas electrónicas [8].

En este trabajo se presenta una revisión sistemática de los avances recientes en el uso de machine learning para la predicción de demencia. Se analizan comparativamente diferentes arquitecturas algorítmicas, combinaciones óptimas de biomarcadores y los principales desafíos para su implementación clínica. El estudio se centra en modelos predictivos validados con datos clínicos o de neuroimagen publicados en la última década. Los hallazgos sugieren que, aunque estas metodologías muestran un alto potencial predictivo, persisten retos importantes en términos de generalización, interpretabilidad e integración en entornos clínicos reales [1], [8]. Esta revisión busca ofrecer perspectivas clave para el desarrollo de herramientas diagnósticas más robustas, tempranas y accesibles en el abordaje de las demencias.

## Metodología

Se llevó a cabo una exhaustiva revisión bibliográfica utilizando como guía la metodología PRISMA por sus siglas en inglés (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). De acuerdo con lo estipulado por [9], este enfoque metodológico favorece la replicabilidad y la actualización de las revisiones de material bibliográfico, lo que en consecuencia permite una presentación más clara, precisa de los hallazgos. Para [10] el uso de esta metodología, garantiza la producción de nuevos saberes en el ámbito de la investigación científica. Además, el autor destaca que las revisiones sistemáticas cumplen un rol importante al permitir identificar el estado actual del conocimiento en un área específica. En este sentido, la aplicación de PRISMA nos ayudará a responder la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles son los algoritmos más usados de machine learning para la predicción de demencia?

## Criterios de inclusión, exclusión y calidad

Con el fin de asegurar que la información recopilada para este trabajo fuera confiable y relevante, se definieron criterios específicos para seleccionar los estudios a analizar. Estos criterios, de inclusión, exclusión y calidad, permitieron filtrar las fuentes más precisas y confiables, garantizando la validez y la pertinencia a la hora de analizar. La descripción detallada de dichos criterios se presenta a continuación en la Tabla 1, Tabla 2 y Tabla 3.

Tabla 1. Criterios de Inclusión

	Criterios de Inclusión
CI1	Antigüedad de máximo 5 años
CI2	Trabajos con relación al tópico de la investigación

Nota. CI= Criterio de Inclusión

Tabla 2. Criterios de Exclusión

	Criterios de Exclusión
CE1	Artículos duplicados
CE2	Trabajos de revisión sistemática
CE3	Trabajos sin relación al tópico de la investigación
CE4	Trabajos sin acceso gratuito

Nota. CE= Criterio de Exclusión

Tabla 3. Criterios de Calidad

	Criterios de calidad
CC1	Autoría y credibilidad
CC2	Diversidad de fuentes
CC3	Actualidad de la información

Nota. CC= Criterio de Calidad

## Estrategia de búsqueda

Con el objetivo de hallar y recopilar información de carácter relevante sobre el tema de estudio, se aplicaron estrategias de búsquedas específicas que se detallan a continuación. Se utilizaron muchas combinaciones de palabras clave como “Machine Learning”, “Dementia”, “Prediction”, “Cognitive Decline”, “Artificial Intelligence”, palabras en inglés, para encontrar más literatura sobre el tema, lo que ayudó a expandir el espectro de resultados y acceder a fuentes pertinentes. Estas combinaciones se aplicaron en diversos motores de búsqueda

y bases de datos académicas de acceso libre, lo que facilitó la identificación de estudios enfocados con el tema de algoritmos de machine learning para la predicción de demencia.

En la Tabla 4 se presenta un resumen de los trabajos de investigación encontrados, organizados según la base de datos o motor de búsqueda en el que fueron localizados. Por otro lado, en la Figura 1 se ilustra el diagrama de flujo correspondiente a la metodología PRISMA empleada en esta revisión académica.

Tabla 4. Filtración de artículos por criterios

Base de Datos	Artículos encontrados	Aplicando CE1	Aplicando CE2	Aplicando CE3	Aplicando CE4
<b>Scielo</b>	41	35	20	6	2
<b>Scopus</b>	1351	1120	311	31	5
<b>IEEE</b>	36	18	8	2	2
<b>Sage Journal</b>	12	11	3	1	1
<b>Google Académico</b>	802	601	12	6	5
<b>TOTAL</b>	2242	1785	354	46	15

### Ecuaciones de Búsqueda

Para iniciar con la búsqueda de los artículos a analizar, se implementaron conectores booleanos de variables de estudio, teniendo en cuenta las diversas combinaciones posibles para hallar la información pertinente del tema en cuestión. Con la finalidad de mejorar la precisión en este proceso, se elaboró en la Tabla 5 un aglomerado que incluye la combinación de los términos predefinidos junto con los operadores booleanos detallados para cada uno de los motores de búsqueda y base de datos utilizados en este trabajo.

Tabla 5. Ecuación de Búsqueda por conectores

Repositorio	Cadena de búsqueda
Scielo	(Machine Learning and Prediction and Dementia and Cognitive Decline)
Scopus	TITLE-ABS-KEY (Machine Learning AND Prediction AND Dementia AND Cognitive Decline)
IEEE	(.All Metadata": Dementia) AND (.All Metadata": Machine Learning) AND (.All Metadata": Prediction)
Sage Journal	(.All Keywords": Dementia) AND (.All Keywords": Prediction) AND (.All Keywords": Machine Learning) AND (.All Keywords": Cognitive Decline)
Google Académico	(Machine Learning and Dementia and Prediction and Artificial Intelligence)

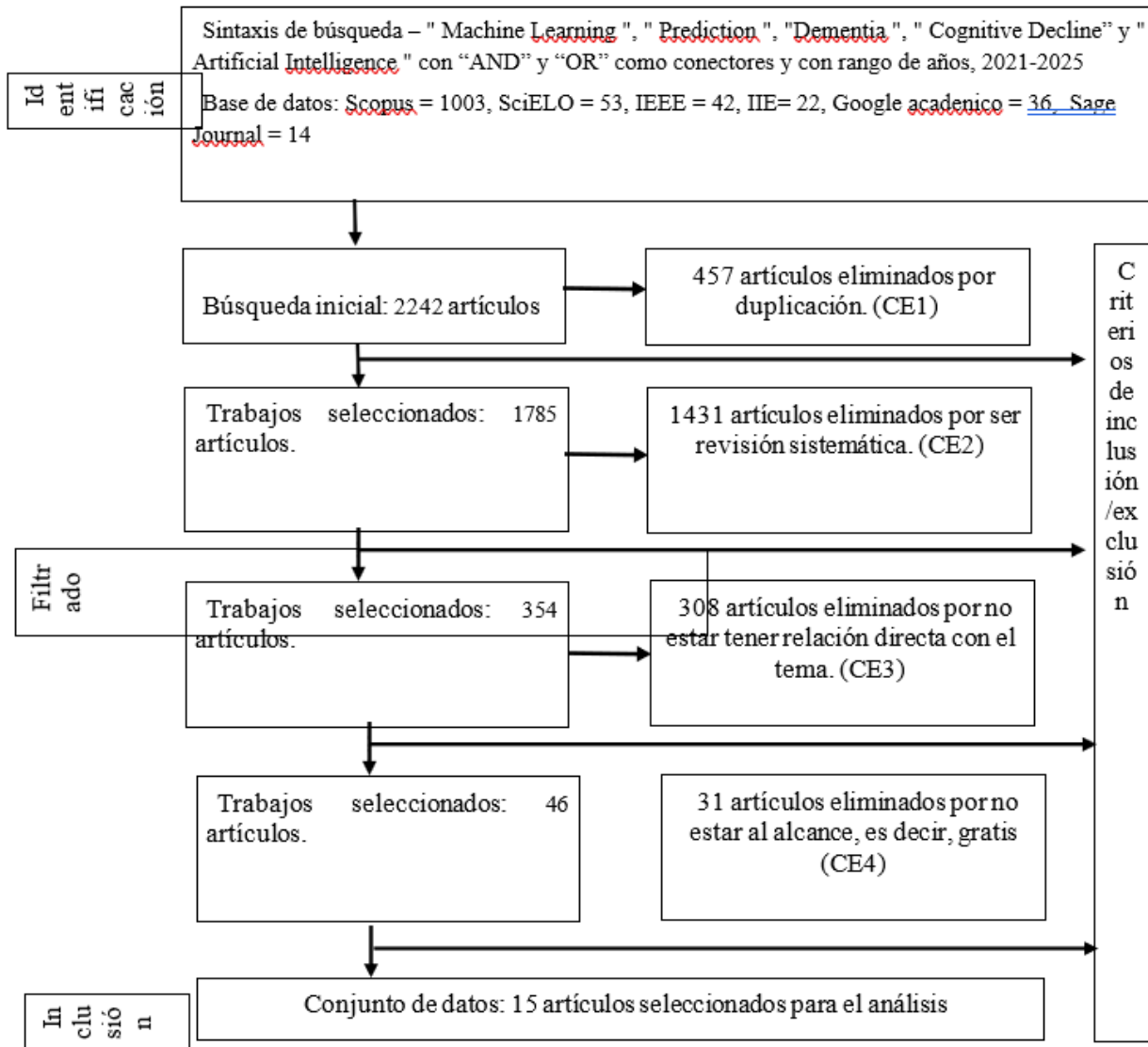


Figura 1. Diagrama de flujo PRISMA aplicado en el trabajo

## Resultados y discusión

Luego de aplicar todos los criterios definidos de inclusión, exclusión y calidad, se identificaron 15 artículos que cumplen con las condiciones propuestas. A continuación la Tabla 6 presenta un resumen detallado de los artículos seleccionados, lo que permite visualizar con claridad los enfoques investigativos adoptados.

Tabla 6. Resultados de los artículos seleccionados

Nro	Autores	País	Resultados	Algoritmo Machine learning utilizado
1	Ganyi feng, et al.	China	El análisis de enriquecimiento funcional reveló que UBE2N está asociado con el ciclo de vesículas sinápticas y las vías de señalización de los receptores de células T/B.	La factorización matricial (MF) en sistemas de recomendación
2	Mónica Richter-Laskowska, et al.	Polonia	Aquí, el algoritmo Random Forest demuestra un rendimiento superior, logrando una precisión del 84 %, un AUC de 0,96 y un MCC de 0,71. Este modelo supera consistentemente a otras técnicas de aprendizaje automático (ML).	Random Forest
3	Bettina Barisch-Fritz, et al.	USA	La muestra del estudio consistió en 319 PcD (IG,norte= 161; CG,norte= 158). La proporción de personas con discapacidad que experimentaron deterioro cognitivo, en los diferentes dominios medidos, osciló entre el 27 % y el 48 % en el GC y entre el 23 % y el 49 % en el GI, sin diferencias estadísticamente significativas ni efectos de tiempo*grupo. Los modelos de aprendizaje automático mostraron una precisión y valores de AUC que oscilaron entre 40,6 y 75,6.	Máquina de vectores de soporte (SVM)
4	Georgina Waldo-Benítez, et al.	México	Se encontró que el algoritmo k-NN es el que obtiene mayor precisión con un $92.13\% \pm 3.48$ , seguido por RF con un $92.0\% \pm 1.8$ , a pesar de que obtienen valores muy cercanos, RF no clasifica la categoría de convertido	k- Nearest Neighbors (Vecinos más cercanos)

Nro	Autores	País	Resultados	Algoritmo Machine learning utilizado
5	Charlotte James, et al.	USA	En este estudio de pronóstico de datos de 15.307 asistentes a clínicas de memoria sin demencia, los algoritmos de aprendizaje automático fueron superiores en su capacidad para predecir la demencia incidente en 2 años en comparación con 2 modelos predictivos existentes. Los algoritmos de aprendizaje automático requerían solo 6 variables para alcanzar una precisión de al menos el 90 % y tenían un área bajo la curva característica operativa del receptor de 0,89.	Regresión logística (LR)
6	Nibeth Mena Mamani	España	A partir de los datos (exoma) de un individuo se encontraron 27 variantes genéticas asociadas a la enfermedad del Alzheimer. Posteriormente, con ayuda de las herramientas PLINK y PRSice se calculó la puntuación de riesgo poligénico con distintos modelos obtenidos por medio de estudios asociativos previos (GWAS )	Algoritmo KNN o K vecinos
7	Battista, P., et al.	Italia	En un estudio de 1502 pacientes que presentaban deterioro cognitivo leve, el modelo de SVC superó modelos clínicos tradicionales usando 6 variables neuropsicológicas como el MMSE, la memoria episódica y la edad. Alcanzando una precisión del 85 %	SVM (Support Vector Machine)
8	Pellegrini, E., et al.	Reino Unido/ España	En el uso del algoritmo CNN 3D mostraron que la AUC = 0.89 vs AUC = 0.82 en modelos tradicionales. Requirieron solo 4 biomarcadores de MRI para alcanzar una predicción mayor a 90 %.	Random Forest, CNN, SVM

Nro	Autores	País	Resultados	Algoritmo Machine learning utilizado
9	Dyrba, M., et al.	Alemania	El modelo empleado de 3D-CNN + XG-Boost logró una alta precisión de 92 % para predecir que pacientes con deterioro cognitivo leve podrían tener demencia en un plazo de 2 años.	3D-CNN (Redes Neuronales Convolucionales 3D)
10	Janice M. Ranson, et al.	Reino Unido	Se menciona que los métodos de IA en neuroimagen superan a los enfoques tradicionales, como en el caso de la clasificación diagnóstica utilizando el volumen hipocampal, y se citan más de 250 estudios de IA que abordan preguntas clínicas sobre el diagnóstico o pronóstico de la demencia.	Deep learning, modelos de aprendizaje no supervisado
11	Ashir Javeed, et al.	Suecia	Los modelos basados en imágenes mostraron un rendimiento superior, con precisiones que alcanzaron hasta el 99.99 % en la clasificación de demencia utilizando redes neuronales convolucionales (CNN) y SVM. En contraste, los modelos basados en voz obtuvieron precisiones más bajas, alrededor del 63.6 % con CNN. Los algoritmos más utilizados fueron SVM (26 %), Random Forest (16 %) y CNN (14 %).	SVM (Support Vector Machine), Random Forest (RF), Redes Neuronales Convolucionales (CNN), RNN/LSTM.
12	Alexander Merkin, et al.	Nueva Zelanda	Los modelos de Deep Learning pueden alcanzar una precisión superior al 90 % en la detección y predicción de demencia, superando a los métodos tradicionales de Machine Learning.	Deep Learning y Métodos tradicionales

Nro	Autores	País	Resultados	Algoritmo Machine learning utilizado
13	Danielle Newby, et al.	Reino Unido	Los modelos de Machine Learning (ML) pueden mejorar la predicción del riesgo de demencia y optimizar la selección de participantes para ensayos clínicos. Además, se señala que los enfoques de aprendizaje profundo (deep learning) han logrado una precisión superior al 90 % en la clasificación de deterioro cognitivo leve (MCI) y demencia utilizando datos de neuroimagen.	Deep learning
14	Haewon Byeon	Corea del Sur	Los estudios revisados mostraron altas precisiones en la predicción de demencia, como un 99.52 % con J48 (Bansal et al., 2018), 87 % con MLP y SVM (Zhu et al., 2020), y un AUC de 0.869 con Naive Bayes (Jammeh et al., 2018).	Random Forest, SVM, Naive Bayes, MLP, Decision Tree (J48), AdaBoost, LogitBoost, K-means, SMOTE.
15	Donald M. Lyall, et al.	Reino Unido	Los modelos de machine learning superaron los métodos clínicos tradicionales en la predicción de demencia. Un estudio con 32,573 participantes mostró que los Gradient Boosted Trees lograron un 92 % de precisión, superando a modelos como CAIDE (80 %). Otro modelo combinando SVM y k-NN alcanzó un 97.2 % de precisión en identificar riesgo de demencia.	Gradient Boosted Trees, SVM, k-NN, Random Forest, Neural Networks, Multimodal Transformers, Restricted Boltzmann Machines (RBM).

Los resultados de esta revisión sistemática demuestran que los algoritmos de Machine Learning están revolucionando el campo de la predicción de demencia. Entre los modelos más utilizados destacan Random Forest y SVM, los cuales han mostrado precisiones superiores al 85 % en múltiples estudios. Estos algoritmos han demostrado ser especialmente efectivos al analizar datos clínicos y neuroimágenes, lo que sugiere su potencial para integrarse en entornos médicos reales. Sin embargo, se observa que su rendimiento varía significativamente según el tipo y la calidad de los datos utilizados, lo que subraya la importancia de estandarizar los conjuntos

de datos en futuras investigaciones.

Un hallazgo relevante es el sobresaliente desempeño de las redes neuronales convolucionales (CNN), particularmente en el análisis de neuroimágenes, donde alcanzan precisiones cercanas al 99 %. Este resultado resalta el papel crucial de las técnicas de Deep Learning en el procesamiento de datos complejos como resonancias magnéticas o tomografías. No obstante, estos modelos presentan desafíos importantes en cuanto a interpretabilidad, lo que puede limitar su adopción clínica. La caja negra característica de muchas arquitecturas profundas sigue siendo una barrera que debe abordarse para ganar la confianza de los profesionales de la salud.

Desde una perspectiva geográfica, se identifica una marcada disparidad en la distribución de los estudios. La mayoría de las investigaciones provienen de países desarrollados, con escasa representación de poblaciones latinoamericanas o africanas. Esta brecha podría afectar la generalización de los modelos, ya que factores como la diversidad genética y las condiciones socioeconómicas pueden influir en la manifestación de la demencia. Además, se observa que los países con mayores recursos tienden a emplear técnicas más avanzadas como el Deep Learning, mientras que en regiones con menos acceso a tecnología predominan algoritmos clásicos como k-NN o regresión logística.

Entre las limitaciones más significativas se encuentra el uso de conjuntos de datos pequeños o poco diversos en muchos estudios. Esta restricción afecta directamente la capacidad de los modelos para generalizar sus predicciones a poblaciones más amplias. Asimismo, la falta de estandarización en las métricas de evaluación dificulta la comparación directa entre diferentes algoritmos. Estos aspectos técnicos deben considerarse cuidadosamente en futuras investigaciones para garantizar que los avances en Machine Learning se traduzcan en beneficios tangibles para los pacientes.

Las perspectivas futuras en este campo apuntan hacia el desarrollo de modelos multimodales que integren diversas fuentes de información, como datos genómicos, biomarcadores sanguíneos y variables de estilo de vida. Este enfoque holístico podría superar las limitaciones de los modelos actuales y ofrecer predicciones más precisas y personalizadas. Paralelamente, resulta crucial fomentar la colaboración internacional para crear bases de datos más diversas y representativas, así como para establecer protocolos estandarizados que faciliten la implementación clínica de estas tecnologías.

En conclusión, si bien los algoritmos de Machine Learning muestran un potencial extraordinario para transformar el diagnóstico y pronóstico de la demencia, su implementación exitosa requerirá superar importantes desafíos técnicos, éticos y logísticos. El equilibrio entre innovación tecnológica y aplicabilidad clínica será fundamental para garantizar que estos avances beneficien equitativamente a todos los sectores de la población.

\*Conclusiones El presente estudio realizó una ardua investigación sobre los algoritmos de Machine Learning

aplicados a la predicción de demencia, siguiendo la metodología PRISMA para garantizar rigor científico. Tras analizar 15 artículos seleccionados mediante criterios estrictos, se identificó que los algoritmos más utilizados son Random Forest, SVM, k-NN, Regresión Logística, Factorización Matricial y Redes Neuronales Convolucionales (CNN). Estos modelos demostraron una alta eficacia, con precisiones que superan el 85 % en la mayoría de los casos. Las CNN destacaron especialmente en el procesamiento de neuroimágenes, alcanzando hasta un 99 % de precisión, lo que resalta su potencial para un diagnóstico temprano y preciso.

Esta investigación contribuye significativamente al campo de la inteligencia artificial en salud al sintetizar evidencia actualizada sobre el rendimiento de estos algoritmos. Los resultados subrayan su capacidad para analizar datos complejos y multimodales, como imágenes médicas, variables clínicas y biomarcadores genéticos, ofreciendo herramientas prometedoras para la detección temprana de la demencia. Sin embargo, también se identificaron desafíos críticos, como la falta de estandarización en los conjuntos de datos y la limitada interpretabilidad de modelos avanzados como los basados en Deep Learning, lo cual puede dificultar su implementación clínica.

Como perspectivas futuras, se recomienda desarrollar modelos multimodales que integren diversas fuentes de información, como datos genómicos, biomarcadores sanguíneos y hábitos de vida, para mejorar la precisión predictiva. Además, es crucial fomentar colaboraciones internacionales que permitan recopilar datos más diversos y representativos, especialmente de poblaciones subestudiadas como las de Latinoamérica y África. Otra línea importante es la investigación en técnicas de explicabilidad (XAI) para hacer los modelos más transparentes y accesibles para los profesionales de la salud. Finalmente, se sugiere validar estos algoritmos en entornos clínicos reales, con el fin de asegurar su utilidad práctica y facilitar su adopción en sistemas de salud. Estos avances no solo optimizarían el diagnóstico y pronóstico de la demencia, sino que también podrían extenderse a otras áreas de la medicina, marcando un hito en la aplicación de la inteligencia artificial para mejorar la calidad de vida de los pacientes.

\*Contribución de Autoría Ricardo Dario Mendoza Rivera: [Visualización](#), [Validación](#), [Redacción - borrador original](#). Lecca Rengifo Maria Alexandra: [Investigación](#), [Escritura](#), [revisión y edición](#). Guido Haro Marco Lucas: [Conceptualización](#), [Investigación](#), [Metodología](#). Cruz Ulloa Leydi Marisol: [Análisis formal](#), [Redacción - borrador original](#). Huamanchumo Gordillo Alexander Saul: [Redacción - borrador original](#), [Conceptualización](#), [Escritura](#), [revisión y edición](#). Quispe Sanchez Edward Steven: [Supervisión](#), [Administración de proyectos](#), [Curación de datos](#).

## Referencias

- [1] A. Javeed, A. L. Dallora, J. S. Berglund *et al.*, “Machine learning for dementia prediction: A systematic review and future research directions,” *Journal of Medical Systems*, vol. 47, no. 17, 2023.
- [2] S. Grueso and R. Viejo-Sobera, “Machine learning methods for predicting progression from mild cognitive impairment to alzheimer’s disease dementia: a systematic review,” *Alzheimer’s Research & Therapy*, vol. 13, no. 162, 2021.
- [3] S. Kumar, I. Oh, S. Schindler, A. M. Lai, P. R. O. Payne, and A. Gupta, “Predicting the risk of alzheimer’s disease progression using ehr data: A multisite study,” *JAMIA Open*, vol. 4, no. 3, 2021.
- [4] A. L. Dallora, S. Eivazzadeh, E. Mendes, J. Berglund, and P. Anderberg, “Machine learning and micro-simulation techniques on the prognosis of dementia: A systematic literature review,” *PLoS ONE*, vol. 12, no. 6, 2017.
- [5] L. J. Sandoval, “Algoritmos de aprendizaje automático para análisis y predicción de datos,” *Revista Tecnológica*, no. 11, 2018.
- [6] C. Russo, H. Ramón, N. Alonso, B. Cicerchia, L. Esnaola, and J. P. Tessore, “Tratamiento masivo de datos utilizando técnicas de machine learning,” 2016.
- [7] S. M. Gutiérrez, L. A. Reséndiz, and M. G. López, “Machine learning y redes neuronales artificiales para predicción y prevención de trastorno depresivo,” *Transformación Digital de las Instituciones Educativas*, vol. 122, 2022.
- [8] G. Kantayeva *et al.*, “Application of machine learning in dementia diagnosis: A systematic literature review,” *Heliyon*, vol. 9, no. 11, 2023.
- [9] M. J. Page *et al.*, “The prisma 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews,” *Journal of Clinical Epidemiology*, vol. 134, pp. 178–189, 2021.
- [10] G. B. Morales, “Análisis de prisma como metodología para revisión sistemática: una aproximación general,” *Saúde em Redes*, vol. 8, no. sup1, pp. 339–360, 2022.



**LaSalle**  
**Universidad**